



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



**UEMA – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CCT – CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANTÔNIO PEREIRA DE SOUSA NETO**

**ESTUDO LABORATORIAL DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO  
UTILIZANDO SEIXO ROLADO**

São Luís

2019

**ANTÔNIO PEREIRA DE SOUSA NETO**

**ESTUDO LABORATORIAL DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO  
UTILIZANDO SEIXO ROLADO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho

São Luís

2019

Sousa Neto, Antônio Pereira de.

Estudo laboratorial de tratamento superficial duplo utilizando seixo rolado / Antônio Pereira de Sousa Neto. - São Luís, 2019.

87 f.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

1.Tratamento superficial duplo. 2.WTAT. 3.Seixo rolado. 4.Macrotextura.

I.Título

CDU: 625.8

**ESTUDO DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO UTILIZANDO  
SEIXO ROLADO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho

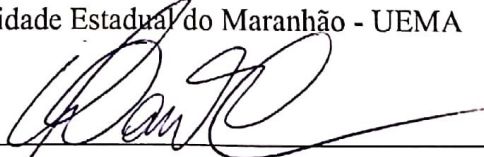
Aprovada em: 01 / 07 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**



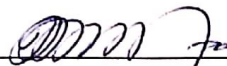
---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho (Orientadora)  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Walter Canales Sant'ana  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



---

Prof.º Msc. Marivaldo Costa Duarte  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

*À minha amada prima Camylla Ribeiro, onde você  
estiver, saiba que eu sempre te amarei.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, pois sem ele nada do que almejamos seria possível. Agradecer por ele ter me dado força, persistência e por sempre estar iluminando meus passos.

Aos meus queridos e amados pais, Cleris e Manoel, por terem me ensinado tudo que sou, por terem me passado ensinamentos maiores e mais importantes que qualquer graduação, eles me ensinaram valores: ética, respeito e amor ao próximo. Obrigado por sempre terem cuidado de mim, por sempre terem apostado em mim, e por me mostrarem que a educação pode nos levar longe.

À minha noiva e meu grande amor, Débora, por sempre ter me apoiado, por ter me aguentado, e por sempre ter acreditado em mim quando nem eu mesmo acreditava, por sempre estar ao meu lado quando fraquejei e por nunca me deixar desistir.

Aos meus irmãos Manoel Jr., Danilo e Rodrigo, por todas as palavras de apoio, pelo incentivo, e por sempre me fazerem acreditar de que eu sou capaz.

Aos meus primos e quase irmãos Rodrigo, Ribamar e Camylla, vocês são parte dessa conquista, obrigado por estarem ao meu lado desde sempre.

A todos os tios e tias que me apoiaram, que me aplaudiram nas minhas vitórias e me levantaram nas minhas derrotas.

Aos grandes amigos da família 2014.2 por termos criado um forte laço de amizade ao qual espero não o perder. Por todas as noites mal dormidas, as madrugadas em claro, e por me ajudarem a vencer todas as dificuldades ao longo desses 5 anos.

A todo o corpo docente na UEMA, que certamente é o melhor do estado, em especial à professora Teresinha pelas dicas, pelas correções, pela ajuda na busca de materiais, por possibilitar a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer a todos que me ajudaram a chegar ao final desta caminhada, mesmo que indiretamente, pois ninguém chega a lugar algum sozinho.

*“ Maior que a tristeza de não haver vencido é  
a vergonha de não ter lutado! ”*

*Rui Barbosa*

## RESUMO

Os Tratamentos Superficiais surgem como uma alternativa de baixo custo e baixa energia empregada para a pavimentação de rodovias de baixo volume de tráfego. Ideais para rodovias municipais que não possuem um alto volume de tráfego, quase sempre se encontram em péssimo estado, e por serem encontradas em abundância por todo o país, a melhoria das mesmas elevaria consideravelmente as condições das rodovias brasileiras. O objeto do presente trabalho é o Tratamento Superficial Duplo (TSD), amplamente utilizado no estado do Ceará e com aplicações em rodovias no Maranhão, diante do exposto, e pela escassez de materiais acadêmicos específicos para este tipo de revestimento, motivou-se a presente pesquisa. O estudo analisa a viabilidade técnica do uso de seixo rolado, facilmente encontrado em várias regiões do estado e já utilizado como agregado do concreto armado, substituindo a brita convencional. A análise deste tipo de revestimento é feita observando a resistência ao desgaste por abrasão úmida no *Wet Track Abrasion Test* – WTAT, além de analisar a macrotextura do revestimento. Além do seixo rolado foi utilizado a emulsão asfáltica RR-2C que foram submetidos aos ensaios de caracterização, obedecendo todas as especificações vigentes no meio rodoviário. Posteriormente foram moldadas amostras em laboratório simulando a execução em campo que foram submetidas aos ensaios de WTAT e Mancha de Areia. De posse dos resultados obtidos e em comparação com outros autores, pode-se concluir que o seixo rolado teve um resultado bastante satisfatório, aproximando-se de materiais comumente usados e pode ser considerado um material alternativo que atenderá completamente às solicitações e exigências vigentes no setor rodoviário.

**Palavras-chave:** Tratamento superficial duplo; WTAT; Seixo rolado; Macrotextura.



## ABSTRACT

Bituminous Surface Treatments arise as a low-cost and low-energy alternative used for paving low traffic volume highways. Ideal for municipal roads that do not have a high traffic volume, that are almost always in poor conditions, and because they are found in abundance throughout the country, the improvement of these would considerably increase the conditions of the Brazilian highways. The purpose of this work is the Double Bituminous Surface Treatment (DBST), widely used in the state of Ceará and with applications in highways in Maranhão, due to the lack of specific academic materials for this type of coating, the present study was motivated search. The study analyzes the technical viability of using pebbles, easily found in several regions of the state and already used as aggregate of reinforced concrete, replacing conventional gravel. The analysis of this type of coating is made by observing the wet abrasion wear resistance in the Wet Track Abrasion Test - WTAT, in addition analyzing the coating macrotexture. The bitumen emulsion RR-2C (similar to CRS-2) was also used, which were submitted to the characterization tests, complying with all road specifications. Subsequently, samples were prepared in the laboratory simulating the execution in the field that were submitted to the WTAT and Spot Sand tests. With the results obtained and in comparison with other authors, it can be concluded that the pebble had a very satisfactory result, approaching commonly used materials and can be considered an alternative material that will completely meet the demands and requirements in the road transport sector.

**Keywords:** Double Bituminous Surface Treatment; WTAT; Pebble; Macrotexture.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção de um pavimento rígido.....	20
Figura 2 - Seção de um pavimento flexível.....	21
Figura 3 - Seção de um pavimento semirrígido.....	21
Figura 4 - Tratamento Superficial Duplo aplicado na MA-012 .....	24
Figura 5 - Tratamentos Superficiais .....	26
Figura 6 - Tratamento antipó.....	27
Figura 7 - Lama asfáltica .....	28
Figura 8 - Microrrevestimento asfáltico .....	28
Figura 9 - Capa selante .....	29
Figura 10 - Macadame betuminoso .....	29
Figura 11 - Esquema de fabricação de emulsão asfáltica.....	33
Figura 12 - Seixo Rolado.....	39
Figura 13 - Método da bandeja.....	40
Figura 14 - Caixa dosadora.....	41
Figura 15 - Areia (a) e seixo rolado (b) utilizados nesse estudo .....	49
Figura 16 – Emulsão RR-2C utilizada nesse estudo.....	49
Figura 17 - Conjunto de peneiras (a) e material retido em cada uma delas (b).....	51
Figura 18 - Ensaio de abrasão <i>Los Angeles</i> : material sendo sujeito a revoluções dentro da máquina (a); material separado com a carga abrasiva (b); material após o desgaste e antes da lavagem (c).....	52
Figura 19 - Ensaio de Adesividade: Material a ser lavado em água destilada por 1 minuto (a); adição de 17,5g de emulsão asfáltica RR-2C (b).....	53
Figura 20 - Determinação do índice de forma com paquímetro: dimensões a, b e c do agregado.....	54
Figura 21 - Ensaio de Equivalente de areia: (a) agitação; (b) adição do agregado; (c) solução diluída e tubo de ensaio; (d) adição da solução e lavagem das paredes do tubo; (e) repouso; (f) pistão com peso .....	55
Figura 22 - Ensaio de peneiração: emulsão passando pela peneira (a); pelotas de CAP retidas (b).....	56
Figura 23 - Carga de partícula: (a) conjunto para realização do ensaio; (b) Fonte de 12V; (c) Amperímetro.....	57
Figura 24 - Água evaporando da emulsão .....	58

Figura 25 - Método da bandeja.....	60
Figura 26 - Caixa e trena utilizadas .....	60
Figura 27- Máquina utilizada no ensaio WTAT.....	62
Figura 28 - Materiais previamente separados.....	62
Figura 29 - Aplicação do ligante (a); Pesagem do conjunto (b); espalhamento do agregado (c). .....	63
Figura 30 - Compactação (a); Aplicação do ligante (b) .....	63
Figura 31 - Aplicação do banho diluído (a); Espalhamento da areia (b).....	64
Figura 32 - Lavagem da manta (a); Mantas submersas (b); Manta submetida ao desgaste (c). .....	65
Figura 33 - Materiais utilizados (a); Espalhamento da areia (b); Medição do diâmetro (c).....	66
Figura 34 - Seixo 1 (a); Seixo 0 (b) .....	67
Figura 35 - Adesividade após 72 horas .....	71
Figura 36 - Depósito de emulsão .....	73
Figura 37 - Amostras de TSD antes do desgaste (a) e após o desgaste (b); Amostras do TSD+CS antes do desgaste (c) e após o desgaste (d).....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas Granulométricas para TSP .....	37
Tabela 2 - Taxa de aplicação segundo DNIT .....	43
Tabela 3 - Taxas de aplicação para capa selante .....	46
Tabela 4 - Granulometria dos agregados no TSD .....	50
Tabela 5 - Graduação para ensaio <i>Los Angeles</i> .....	52
Tabela 6 - Granulometria do material M1 .....	68
Tabela 7 - Granulometria do material M2 .....	68
Tabela 8 - Granulometria da areia .....	69
Tabela 9 - Resultado Abrasão <i>Los Angeles</i> .....	70
Tabela 10 - Índice de forma dos agregados .....	71
Tabela 11 - Resultado Equivalente de Areia .....	72
Tabela 12 - Taxa de agregados .....	74
Tabela 13 - Taxas de Ligante .....	75
Tabela 14 – Desgaste WTAT do TSD sem capa selante .....	75
Tabela 15 - Desgaste do TSD com capa selante.....	76
Tabela 16 - Resultados obtidos no ensaio da mancha de areia.....	79

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do material M1 .....	68
Gráfico 2 - Curva granulométrica do material M2 .....	69
Gráfico 3 - Curva granulométrica da areia .....	70
Gráfico 4 - Comparativo entre TSD e TSD+CS.....	77
Gráfico 5 - Comparativo do desgaste do TSD com outros trabalhos .....	78
Gráfico 6 - Comparativo do desgaste do TSD+CS com outros trabalhos.....	78

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação da forma dos agregados .....	54
Quadro 2 - Classificação da macrotextura a partir da altura média da mancha de areia .....	66
Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos .....	80

## LISTA DE SIGLAS

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADP - Asfalto Diluído de Petróleo

AMB - Asfaltos Modificados por Borracha

AMP - Asfaltos Modificados por Polímeros

AMP-E - Asfaltos Modificados por Polímeros Elastoméricos

ARE - Agentes Rejuvenescedores Emulsificados

BVT - Baixo Volume De Tráfego

CAP - Cimento Asfáltico do Petróleo

CNT - Confederação Nacional de Transportes

CS - Capa Selante

DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DER-PR - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná

DETR - Departamento de Edificações, Rodovias E Transportes

DNER – Departamento Nacional de Estradas De Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

EA – Emulsão Asfáltica

LA - Lama Asfáltica

LABCON - Laboratório de Concreto e Materiais de Construção

LSP - Laboratório de Solos e Pavimentação

MRAF - Microrrevestimento Asfáltico

TME - Tamanho Máximo Efetivo

TSD – Tratamento Superficial Duplo

TSP - Tratamentos Superficiais por Penetração

TSS - Tratamento Superficial Simples

TST - Tratamento Superficial Triplo

VMD - Volume Médio Diário

WTAT - *Wet Track Abrasion Test*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1. Justificativa</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.2.1. Objetivo Geral .....	19
1.2.2. Objetivos Específicos .....	19
<b>2. REVISÃO LITERÁRIA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. Pavimento</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2. Vias de baixo volume de tráfego</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3. Tratamentos Superficiais</b> .....	<b>23</b>
2.3.1. Histórico .....	23
2.3.2. Definição .....	24
2.3.3. Funções do tratamento superficial .....	25
2.3.4. Aplicação de tratamentos superficiais .....	25
2.3.5. Classificação .....	26
<b>2.4. Materiais utilizados nos tratamentos superficiais</b> .....	<b>30</b>
2.4.1. Ligante .....	30
2.4.2. Cimento asfáltico do petróleo .....	30
2.4.3. Emulsão asfáltica .....	32
2.4.4. Agregado .....	35
<b>2.5. Seixo Rolado</b> .....	<b>38</b>
<b>2.6. Métodos de dosagem de Tratamentos Superficiais por Penetração</b> .....	<b>40</b>
2.6.1. Método de Hanson (PINTO, 2002) .....	41
2.6.2. Método de Califórnia (PINTO, 2002) .....	42
2.6.3. Método de Linckenheyl (PINTO, 2002) .....	42
2.6.4. Método de Lovering (PINTO, 2002).....	42
2.6.5. Método de Tagle e Podestá (PINTO, 2002) .....	43
2.6.6. Taxas de aplicação das especificações do DNIT .....	43
2.6.7. Taxas de aplicação das especificações do DERT-CE.....	44
2.6.8. Taxas de aplicação da capa selante.....	45
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>47</b>



<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1. Considerações iniciais</b> .....	<b>48</b>
<b>SUMÁRIO</b>	
<b>4.2. Coleta de materiais</b> .....	<b>48</b>
<b>4.3. Ensaios de Caracterização dos agregados</b> .....	<b>49</b>
4.3.1. Granulometria .....	50
4.3.2. Abrasão <i>Los Angeles</i> .....	51
4.3.3. Adesividade .....	52
4.3.4. Índice de forma .....	53
4.3.5. Equivalente de areia.....	54
4.3.6. Durabilidade .....	55
<b>4.4. Ensaios de caracterização do ligante</b> .....	<b>56</b>
4.4.1. Peneiramento .....	56
4.4.2. Carga de partícula .....	57
4.4.3. Viscosidade Saybolt-Furol .....	57
4.4.4. Resíduo por evaporação.....	58
4.4.5. Desemulsibilidade .....	58
4.4.6. Sedimentação .....	59
<b>4.5. Dosagem de materiais</b> .....	<b>59</b>
4.5.1. Taxa de agregado .....	59
4.5.2. Taxas de ligante .....	60
<b>4.6. Confecção das Mantas e ensaio de desgaste WTAT</b> .....	<b>61</b>
<b>4.7. Ensaio de mancha de areia e análise da macrotextura</b> .....	<b>65</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>67</b>
<b>5.1. Ensaios de caracterização dos agregados</b> .....	<b>67</b>
5.1.1. Granulometria .....	67
5.1.2. Abrasão <i>Los Angeles</i> .....	70
5.1.3. Adesividade .....	71
5.1.4. Índice de forma .....	71
5.1.5. Equivalente de areia.....	72
5.1.6. Durabilidade .....	72
<b>5.2. Ensaios de caracterização do ligante</b> .....	<b>72</b>
5.2.1. Peneiramento .....	72
5.2.2. Carga de partícula .....	73
5.2.3. Viscosidade Saybolt-Furol .....	73

5.2.4. Resíduo por Evaporação .....	73
5.2.5. Desemulsibilidade .....	74
5.2.6. Sedimentação .....	74
<b>5.3. Dosagem de materiais .....</b>	<b>74</b>
5.3.1. Dosagem do agregado .....	74
5.3.2. Dosagem do ligante .....	75
<b>5.4. Ensaio de desgaste WTAT .....</b>	<b>75</b>
<b>5.5. Ensaio da Mancha de areia .....</b>	<b>79</b>
<b>5.6. Resumo dos resultados .....</b>	<b>79</b>
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>81</b>
6.1. Conclusões .....	81
6.2. Sugestões .....	82
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais, com diversas regiões distintas, cada uma com sua particularidade de clima, solo e relevo. Para que o país tenha um desenvolvimento econômico faz-se necessário interligar essas regiões possibilitando a integração econômica e o trânsito de mercadorias e de pessoas. O Brasil é interligado principalmente por rodovias, sejam elas federais, estaduais ou municipais, então o modal rodoviário possui grande relevância na economia do país, já que mais de 60% do transporte de cargas e mais de 90% do deslocamento de pessoas são feitos por rodovias segundo dados da Confederação Nacional de Transportes – CNT (2018). Sabendo disso, faz-se necessário manter as rodovias brasileiras em boas condições de rolamento, propiciando conforto, economia e segurança para quem as utiliza.

Segundo a 22ª Edição da Pesquisa CNT de Rodovias, divulgada em outubro de 2018, 57% dos trechos avaliados em todo o país apresentaram classificação regular, ruim ou péssima, dado preocupante, pois a mesma pesquisa revela que os investimentos federais em infraestrutura de transportes representam um percentual cada vez menor do PIB.

Segundo o DNIT (2008) apud ABEDA (2010) a malha rodoviária brasileira é composta por aproximadamente 1,6 milhão de quilômetros e apenas 13% desse total é pavimentado, destacando-se a malha municipal que corresponde a 80% de todas as estradas brasileiras, e apenas 26 mil quilômetros são pavimentadas, ou seja, apenas 2%.

No estado do Maranhão essa realidade não é diferente, pois a mesma pesquisa da CNT (2018) revela também que 58,4% das rodovias maranhenses avaliadas não estão em boas condições de rolamento, aumentando consideravelmente os gastos com fretes. Isso causa um enorme problema para a economia, já que grande parte das mercadorias que chegam e saem do porto do Itaqui são transportadas pelas rodovias, assim como o escoamento da produção agrícola.

Conhecendo a realidade financeira do país e a relevância econômica das rodovias é papel da Engenharia de Transportes desenvolver pesquisas a fim de descobrir novas técnicas e materiais aplicados na pavimentação que demandem menos investimentos. Então surge a necessidade de se estudar cada vez mais os Tratamentos Superficiais, já que os mesmos demandam menos gastos com a energia empregada e são ótimas soluções para rodovias de baixo e médio tráfego, podendo até ser utilizados em rodovias de alto tráfego se dimensionados e executados corretamente.

Os Tratamentos Superficiais por Penetração (TSP), embora chamados de meios “menos técnicos”, devido ao seu pouco acabamento, na verdade compõem uma das camadas do pavimento de maior eficácia e nobreza estrutural (GONTIJO; SANTANA, 1985 apud LOIOLA, 2009), além de poderem ser utilizados tanto como revestimento novo de rodovias não pavimentadas, como na recuperação de um revestimento existente. Mesmo sendo um revestimento delgado e uma das mais simples camadas de um pavimento flexível, os TSP’s exigem enorme controle no espalhamento do ligante e do agregado (LARSEN, 1985).

É comum utilizar a brita convencional como agregado do Tratamento Superficial, entretanto outros agregados têm sido estudados para substituí-la, principalmente em regiões onde a mesma é de difícil aquisição e acesso. Sendo assim, propõe-se neste estudo a utilização de seixo rolado nos Tratamentos Superficiais.

O seixo rolado, embora muito utilizado como elemento decorativo, substitui a brita na construção civil em muitas regiões do Maranhão, devido ao menor preço e maior facilidade de obtenção. Faz-se então necessário estudar a sua utilização nos tratamentos superficiais, uma vez que o mesmo se propõe a ser utilizado em qualquer região, com o menor custo possível e pode viabilizar a implantação dos TSP em regiões onde o seixo rolado é mais viável economicamente que a brita.

### **1.1. Justificativa**

Os gastos com transporte de materiais podem elevar consideravelmente o valor final de qualquer pavimento, fazendo necessário adequar os materiais para cada região. Em algumas regiões do estado, a brita, principal agregado graúdo utilizado na pavimentação, é de difícil acesso ou de valor elevado. Então com o objetivo de diminuir os gastos com transporte, vem a necessidade de se estudar outros materiais pétreos.

O seixo rolado surge como uma alternativa à brita, porém, é necessário conhecer se o mesmo terá viabilidade técnica com desagregação aceitável, uma vez que isso pode apresentar riscos ao descolar e quebrar faróis ou pára-brisas, e saber se haverá um travamento entre os agregados.

Sabendo da realidade financeira e das condições das estradas maranhenses, surge a necessidade de aprimorar técnicas que podem ser utilizadas para a melhoria da infraestrutura das nossas rodovias. Os Tratamentos Superficiais consistem em técnicas que demandam investimentos menores se comparados a outros tipos de revestimentos e é uma técnica

consolidada e muito utilizada em outros estados, como o estado do Ceará, e podem ser amplamente utilizados em nosso estado.

## **1.2. Objetivos**

### 1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral da presente pesquisa é estudar o comportamento do Tratamento Superficial Duplo executado com seixo rolado.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterização física e mecânica do agregado;
- Analisar as características do ligante (emulsão RR-2C) a ser utilizado na mistura;
- Estudar traços para a composição da mistura;
- Comparar os resultados obtidos com outros autores.

## 2. REVISÃO LITERÁRIA

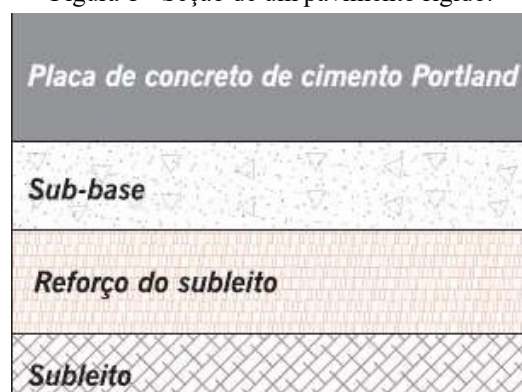
### 2.1. Pavimento

Diferente do que a maioria dos leigos no assunto pensa, o pavimento não é apenas aquela camada final e visível, em que os carros passam. O pavimento é uma estrutura composta em camadas de espessuras pré-definidas, construída sobre a camada final da terraplanagem, que tem como função resistir aos esforços e transmiti-los ao solo (BERNUCCI et al., 2010), de forma que o conjunto resista sem ocorrer recalques e afundamentos. Para Balbo (2007), as estruturas do pavimento têm como principal função resistir aos esforços das cargas e de condições climáticas sem que ocorram recalques prematuros, ou seja, dimensiona-se o pavimento levando-se em conta o tráfego, questões climáticas e econômicas.

Há dois tipos de pavimentos segundo Bernucci et al. (2010): o rígido, também chamado pavimento de concreto-cimento e o flexível, conhecido também como pavimento asfáltico. Porém na nomenclatura internacional é chamado de pavimento semirrígido um pavimento que possui um revestimento asfáltico e uma base cimentada (BALBO, 2007).

Os pavimentos rígidos (Figura 1) são aqueles em que o revestimento é uma placa de cimento Portland, podendo ser armadas ou não. Nesses pavimentos a espessura é dada em função da resistência à flexão das placas e das capacidades de carga das camadas abaixo. Vale ressaltar que é conveniente que esse tipo de pavimento não possua base, pois o material utilizado na camada inferior às placas é equivalente ao utilizado na sub-base dos pavimentos flexíveis (BERNUCCI et al., 2010). Segundo Pinto (2002) esse tipo de pavimento possui um revestimento de altíssima rigidez comparado às camadas subjacentes, absorvendo dessa forma boa parte dos esforços provenientes do carregamento.

Figura 1 - Seção de um pavimento rígido.



Fonte: Bernucci et al. (2010).

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa quando sujeito a um carregamento. Dessa forma a carga se distribui em parcelas equivalentes a resistência de cada camada (DNIT, 2006). De acordo com Bernucci et al. (2010), os revestimentos desse tipo de pavimento são compostos por uma mistura, dosada, de agregados e ligante e formado por 4 camadas principais: além do revestimento temos a base, a sub-base e o reforço do subleito, podendo-se retirar algumas camadas a depender do tráfego e da disponibilidade de materiais. Na Figura 2 tem-se uma estrutura típica de um pavimento flexível.

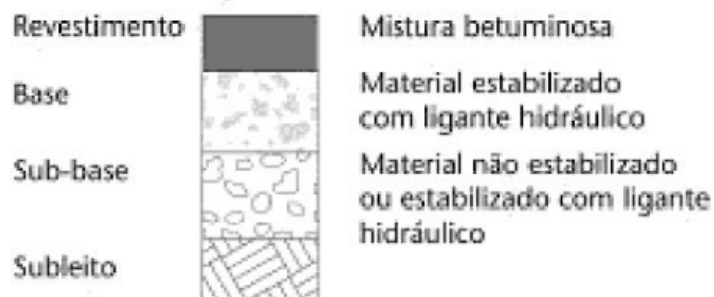
Figura 2 - Seção de um pavimento flexível.



Fonte: Bernucci et al. (2010).

Os pavimentos semirrígidos são caracterizados por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como uma camada de solo-cimento (DNIT, 2006). Para estabilização da base não é obrigatório o uso de cimento, podendo usar outro tipo de ligante hidráulico como por exemplo a cal. A Figura 3 mostra uma seção tipo de um pavimento semirrígido tradicional.

Figura 3 - Seção de um pavimento semirrígido.



Fonte: Balbo (2007).

Como pode-se ver nas imagens anteriores, o pavimento, seja ele flexível, semirrígido ou rígido, é composto por camadas, cada uma com a sua importância estrutural. A seguir apresenta-se as principais características das camadas que compõem o pavimento.

O subleito é uma camada teoricamente considerada como infinito, é a infraestrutura ou o terreno de fundação do pavimento. O DNIT (2006), recomenda que o subleito deve ser estudado até a profundidade em que os esforços são significativos, porém, segundo Balbo (2007) deve-se ter maiores cuidados com a parte superior dessa camada, uma vez que os esforços geralmente dispersam logo no primeiro metro. O subleito é nada mais que a camada final do serviço de terraplenagem.

Quando a capacidade de suporte do subleito é pequena ou medíocre, faz-se necessário aplicar uma camada constante de um material com propriedades geotécnicas melhores que a do subleito, porém inferiores à camada seguinte. A essa camada dá-se o nome de reforço do subleito. Essa camada não é obrigatória, pois aumentando as demais camadas pode haver uma diminuição significativa dos esforços no subleito, porém ela é aplicada sempre que é economicamente viável (BALBO, 2007; DNIT, 2006).

A sub-base segundo Balbo (2007) é nada mais que um complemento da camada de base, quando esta, devido à resistência das demais camadas e das cargas aplicadas, for muito espessa, buscando assim, subdividi-la em duas, por razões construtivas e econômicas, criando assim uma sub-base, com um material de menor custo.

Em relação à base, segundo DNIT (2006), esta é a camada imediatamente inferior ao revestimento que é responsável por resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego.

Por fim, o revestimento é a camada superior destinada a resistir diretamente as ações do tráfego e transmitir para as camadas inferiores, além de ter importante função de impermeabilizar o pavimento e garantir melhores condições de rolamento aos usuários (BERNUCCI et al., 2010).

Vale ressaltar que quanto mais acima e mais próximo do contato direto com o tráfego, mais resistente é o material utilizado para constituir determinada camada e por consequência, mais caro.

## **2.2. Vias de baixo volume de tráfego**

As vias de Baixo Volume De Tráfego (BVT) são de grande importância para o desenvolvimento econômico do Brasil, uma vez que esse tipo de rodovia compõe aproximadamente 85% da malha rodoviária nacional (DNIT, 2006 apud SANT'ANA, 2009).



O termo BVT pode estar relacionado a uma rodovia de menor importância se comparadas às vias arteriais, mas quando analisadas quanto ao percentual existente, possuem grande relevância (SANT'ANA, 2009), já que pela sua extensão em todo o território nacional, se tornam de grande importância social e econômica.

Ainda segundo Sant'Ana (2009), é difícil estabelecer um conceito para as rodovias de baixo volume de tráfego, uma vez que essa classificação varia de acordo com o país, ou até mesmo o estado. Para a realidade do estado do Maranhão ele considera que uma via BVT é aquela em que o Volume (de tráfego) Médio Diário - VMD é menor ou igual a 200 veículos por dia em ambos os sentidos, sendo que desses, menos de 60 são comerciais, assim, mesmo uma rodovia com o VMD menor que 200, não será BVT se tiver mais de 60 veículos comerciais em ambos os sentidos.

As vias de baixo volume de tráfego, por terem um VMD baixo, e consequentemente um número N baixo, não precisam de estruturas robustas, podendo-se usar materiais mais simples e baratos em camadas mais delgadas, garantindo ao usuário boas condições de trafegabilidade, com conforto e segurança, ou seja, utilizar um pavimento de “baixo custo” que segundo Santana (1993) apud Sant'Ana (2009), é uma rodovia dimensionada para um tráfego limitado que utiliza materiais locais. Como exemplo, tem-se os Tratamentos Superficiais, que podem apresentar soluções simples, e economicamente viáveis, quando os materiais utilizados são de fácil acesso.

## **2.3. Tratamentos Superficiais**

### **2.3.1. Histórico**

As primeiras vezes em que se tem notícia da utilização de Tratamento Superficial datam da primeira metade do século XIX, na Inglaterra em 1834 e na França em 1840, onde se observou a aglomeração de agregados utilizando alcatrões residuais, oriundos da fabricação de gás de iluminação. Somente em 1867, na Europa, começaram a serem observadas as primeiras aplicações de Tratamentos Superficiais em camadas, utilizando areia e alcatrão. Uma tentativa sem sucesso (BUZATTI, 1994 apud JESUS, 2013; LARSEN, 1985).

Prego (2001) já relatou o uso de Tratamento Superficial no Brasil pela primeira vez na década de 1930, onde era utilizado o Tratamento Superficial Simples sobre uma base de “macadam”, e já nessa época notava-se a qualidade desse tipo de revestimento.

No Maranhão, segundo Sant'Ana (2009) apenas 1,5% das rodovias maranhenses tinham como revestimento os tratamentos superficiais. Estima-se que muitos deles tenham sido construídos na década de 70. Mas vale ressaltar o recente aumento do número, uma vez que algumas rodovias foram pavimentadas com Tratamentos Superficiais. Segundo o governo do estado, as rodovias MA-352 e MA-026, foram recuperadas com Tratamento Superficial Duplo, e aplicação de microrrevestimento, a MA-012 (Figura 4) também recebeu pavimentação em Tratamento Superficial Duplo, assim como a MA-315.

Em São Luís, muitos bairros foram pavimentados em Tratamentos Superficiais, e segundo a prefeitura, o microrrevestimento asfáltico é o tratamento de superfície utilizado na recuperação de avenidas, como por exemplo, a Av. dos Holandeses.

Figura 4 - Tratamento Superficial Duplo aplicado na MA-012



Fonte: Governo do Maranhão (2017).

### 2.3.2. Definição

Os chamados Tratamentos Superficiais consistem em aplicação de ligantes e agregados na pista sem uma mistura prévia, apenas com uma compactação posterior para garantir o cobrimento parcial e a adesão entre ligantes e agregados (BERNUCCI et al., 2010). Larsen (1985) diz ainda que Tratamento Superficial por Penetração é um revestimento flexível de pequena espessura, executado por espalhamento sucessivo de ligante e agregado, podendo ser simples ou múltiplo.

Melo e Santana (1970) apud Loiola (2009) definem o Tratamento Superficial como a mais simples e econômica camada de um pavimento flexível, que pode ser utilizado sobre uma base imprimada como primeiro revestimento ou sobre um revestimento antigo desgastado e em bom estado estrutural.

A ABEDA (2010) ressalta em seu Manual Básico de Emulsões Asfálticas que o Tratamento Superficial por Penetração é um revestimento flexível de pequena espessura (entre 0,5 e 2,5cm) e consiste em um dos métodos mais antigos e econômicos de se fazer um revestimento asfáltico em vias BVT, chamando a atenção que com a introdução de ligantes modificados, esse uso tende a se estender para rodovias de médio tráfego.

### 2.3.3. Funções do Tratamento Superficial

A principal função do Tratamento Superficial por Penetração é a de proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém de alta resistência ao desgaste (LARSEN, 1985). Mas pode-se citar várias outras, como impermeabilizar e rejuvenescer revestimentos fissurados, impermeabilizar e proteger a infraestrutura do pavimento, promover uma textura antiderrapante, proporcionar uma condição satisfatória para acompanhar as deflexões e minimizar a reflexão, selando as trincas de bases e sub-bases cimentadas (MELO, 1978; LARSEN, 1985; FORTES, 1994 apud LOIOLA, 2009).

### 2.3.4. Aplicação de Tratamentos Superficiais

A principal aplicação dos Tratamentos Superficiais é de constituir uma camada de rolamento, tanto para pavimentos novos, como na recuperação de outros degradados. Dentre outras funções pode-se citar evitar a propagação de poeira em estradas de chão, revestir acostamentos, manutenção de revestimentos desgastados e porosos, selar revestimentos de granulometria aberta, selagem para cura de solo-ligante hidráulico, proteção provisória de subleitos ou sub-base (FORTES, 1994 apud LOIOLA, 2009).

Bernucci et al. (2010) lembra que o Tratamento Superficial não aumenta substancialmente a resistência estrutural do pavimento e não corrige irregularidades muito grandes devido à sua espessura delgada. Larsen (1985) diz ainda que os Tratamentos Superficiais são de fácil execução, mesmo com a complexidade e controles a serem tomados no campo, trata-se de um revestimento meramente artesanal.

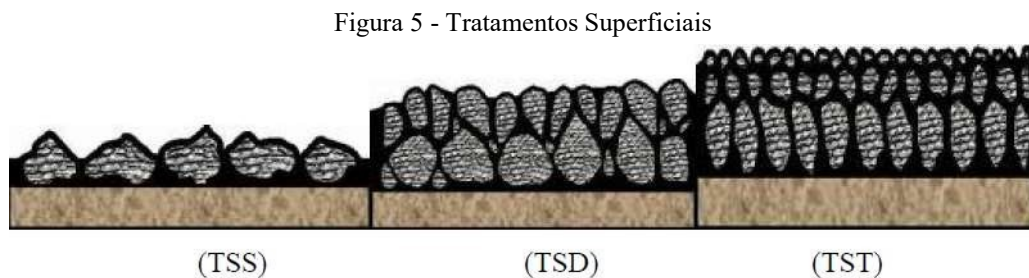
### 2.3.5. Classificação

A classificação dos Tratamentos Superficiais se dá pela quantidade de camadas sucessivas de ligantes e agregados, podendo ser simples (TSS), duplo (TSD) e triplo (TST).

Segundo o DNIT (2012), em sua norma 146/2012-ES, o conceito de Tratamento Superficial Simples (TSS) é a camada de revestimento do pavimento constituída de uma aplicação simples de ligante asfáltico por uma camada de agregado, submetida à posterior compressão. A incorporação do ligante é feita por penetração invertida. Inicialmente faz-se uma varredura na pista imprimada ou pintada para a eliminação de pó, depois o ligante é aplicado de uma só vez e imediatamente após, deve ocorrer o espalhamento do agregado e iniciar a compressão em seguida.

Ainda segundo o DNIT (2012), em sua norma 147/2012-ES, Tratamento Superficial Duplo (TSD) é a camada de revestimento do pavimento constituída por duas aplicações de ligante asfáltico, cada uma coberta por camada de agregado. O processo de execução é bem parecido ao do TSS, podendo-se dizer que é realizado dois TSS superpostos. A incorporação do ligante é feita por penetração invertida (maior parte) e direta (menor parte). O Tratamento Superficial Duplo é o mais utilizado no estado do Maranhão.

Segundo o DNIT (2012), em sua norma 148/2012-ES, Tratamento Superficial Triplo (TST) é a camada de revestimento do pavimento constituída por três aplicações de ligante asfáltico, cada uma coberta por camada de agregado. O processo de execução segue os demais TSP, e assim como no TSD, a incorporação do ligante é feita tanto por penetração direta, quanto invertida. Bernucci et al. (2010) lembra que nos Tratamentos Superficiais múltiplos os agregados da primeira camada são maiores e vão diminuindo nas camadas superiores. A Figura 5 apresenta desenhos esquemáticos do TSS, TSD e TST.



Fonte: Loiola (2009).

Estão incluídos também na família dos tratamentos superficiais outros tipos de revestimentos que também são caracterizados pelo espalhamento de ligante e agregados na

pista e o envolvimento do agregado pela penetração do ligante (BERNUCCI et al., 2010). ABEDA (2010) afirma que os tratamentos de superfície se destacam por serem executados na pista, em uma mistura a frio, ocasionando simplicidade ao processo e economia da energia empregada e separa ainda os Tratamentos Superficiais naqueles que há espalhamento alternado de ligante e agregado (Tratamentos Superficiais por Penetração – TSP e tratamento antipó) e os devidamente dosados em laboratório, ou aplicados sob forma de misturas dosadas previamente (lama asfáltica, microrrevestimento, e *cape seal*).

O tratamento para eliminação de poeira ou antipó (Figura 6) é o espalhamento de emulsão asfáltica catiônica que será coberta por um agregado mineral ou saibro, sobre uma superfície não pavimentada, com o intuito de evitar a propagação do pó (ABEDA, 2010). Bernucci et al. (2010) completa afirmando que o tratamento antipó é utilizado em estradas de terra ou de revestimento primário e que o ligante deve penetrar pelo menos 2 a 5mm na superfície tratada. O tratamento antipó também é chamado de Tratamento Superficial primário por penetração.

Figura 6 - Tratamento antipó



Fonte: ABEDA (2010).

A Lama Asfáltica (LA) é a mistura de agregado mineral, material de enchimento ou filer, emulsão asfáltica e água, com consistência fluida, misturada uniformemente com equipamento apropriado e aplicado a temperatura ambiente, possuindo espessura final de 3 a 9mm (PEREIRA, 2013). A lama asfáltica (Figura 7) tem sua aplicação principal a manutenção de pavimentos, em especial, pavimentos com desgaste superficial e pequenas trincas, servindo então como um agente impermeabilizante e rejuvenescedor do revestimento existente (BERNUCCI et al., 2010).

Figura 7 - Lama asfáltica



Fonte: ABEDA (2010).

O Microrrevestimento Asfáltico (MRAF) é uma mistura a frio de emulsão modificada por polímeros com agregado mineral, material de enchimento ou fíler, água e pode ou não conter aditivos químicos para controlar a velocidade de ruptura da emulsão. É considerado uma evolução da lama asfáltica tradicional, uma vez que tem o mesmo princípio, porém com materiais distintos e maior controle tecnológico (ABEDA, 2010). De acordo com Bernucci et al. (2010) uma das vantagens de se usar a emulsão modificada é que a mesma é preparada de tal forma que permita a mistura com os agregados como se fosse de ruptura lenta e em seguida a ruptura torna-se rápida, liberando logo o tráfego. A Figura 8 exemplifica o MRAF.

Figura 8 - Microrrevestimento asfáltico



Fonte: ABEDA (2010).

A Capa Selante (CS) é um Tratamento Superficial Simples com ou sem aplicação de agregado miúdo, aplicado sobre revestimentos antigos ou desgastados (Figura 9). Tem



como finalidade selar revestimentos asfálticos, prevenindo-o contra a oxidação do ligante. Também é muito utilizada como última camada de Tratamentos Superficiais múltiplos, lembrando que quando executada após o TSD, configura-se TST (PEREIRA, 2013).

Figura 9 - Capa selante



Fonte: Copa Engenharia (2013).

Tem-se ainda o macadame betuminoso por penetração direta (Figura 10), que é a aplicação sucessiva de agregado e ligante betuminoso por espalhamento, geralmente executado em duas aplicações, possui espessura final maior que 20mm, mas é comumente utilizado como base ou binder, em espessuras maiores de 50mm (BERNUCCI et al, 2010).

Figura 10 - Macadame betuminoso



Fonte: Loiola (2009).

## 2.4. Materiais utilizados nos Tratamentos Superficiais

Como já exposto, os Tratamentos Superficiais consistem basicamente em uma mistura, na pista, entre agregados e ligantes, cada um com suas funções e particularidades, com diversos parâmetros que justifiquem a escolha do material correto, sendo assim, faz-se necessário uma abordagem de forma breve sobre cada um dos materiais utilizados nos TSP.

### 2.4.1. Ligante

A principal função do ligante no TSP é segurar as partículas de agregado no revestimento asfáltico durante toda a sua vida útil. Além disso, o ligante protege as partículas da umidade, agindo como um agente amortecedor, impermeabilizando o pavimento (PEREIRA, 2013). Segundo Larsen (1985) esse fenômeno ocorre pela ligação permanente com a superfície tratada e entre as partículas vizinhas. É fundamental analisar algumas características do ligante ao escolher o mesmo, são elas: a sua viscosidade, a sua adesividade ao agregado, o período de cura, a susceptibilidade térmica e a resistência ao envelhecimento.

Os ligantes asfálticos utilizados no TSP são: cimento asfáltico do petróleo (CAP), asfalto diluído de petróleo (ADP), emulsão asfáltica (EA) e o alcatrão. O CAP é pouco utilizado devido ao perigo de superaquecimento e dificuldade de molhagem do agregado; os ADP's estão em desuso devido a problemas de poluição; os alcatrões são de pouco uso devido a sua escassez e seu poder cancerígeno, dessa forma a emulsão asfáltica é o tipo de ligante mais empregado em TSP (PEREIRA, 2013).

### 2.4.2. Cimento asfáltico do petróleo

Segundo Bernucci, et al. (2010), o asfalto utilizado na pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e é um adesivo termoviscoplastico, impermeável e pouco reativo a água. Vale ressaltar que a baixa reatividade não significa que o mesmo não oxide lentamente em contato com ar e água. No Brasil, esse produto é denominado de CAP, um produto semissólido a temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas, e que se enquadra em limites de viscosidade para algumas temperaturas, conforme especificações.



Atualmente existem quatro tipos de CAP's comercializados, que são classificados de acordo com a faixa de penetração, sendo: CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100, CAP 150/200, que servem de base para a produção de outros materiais betuminosos, como asfalto diluído de petróleo (ADP), emulsão asfáltica (EA), asfaltos modificados por polímeros e polímeros elastoméricos (AMP e AMP-E), asfaltos modificados por borracha (AMB), agentes rejuvenescedores emulsificados (ARE), e aditivos asfálticos (BERNUCCI et al., 2010).

Nos Tratamentos Superficiais, o CAP é aquecido até adquirir a consistência adequada para então ser espalhado. Porém, não se deve aquecer o mesmo a temperaturas acima de 175°C, a fim de evitar acidentes. Nesse caso deve-se utilizar os CAP's mais moles, como o CAP 150/200. O uso do CAP 85/100 é perigoso pois é necessário aquecê-lo até próximo da temperatura limite. CAP's mais duros que o 85/100 devem ser descartados (SANTANA e GONTIJO, 1985 apud LOIOLA, 2009). Segundo Larsen (1985) o CAP deve apresentar viscosidade suficiente para não escorrer por causa das inclinações da pista.

Algumas vantagens do uso de CAP em Tratamentos Superficiais por Penetração podem citar: o rápido desenvolvimento de elevada viscosidade; bom comportamento com agregado graúdo ou quando sujeito ao tráfego pesado; propicia uma menor rejeição do agregado da última camada. Dentre as desvantagens temos: necessidade da cobertura imediata com o agregado; aquecimento próximo do limite superior de temperatura; maior atenção na execução, pela maior facilidade de entupimento dos bicos (MELO, 1978 apud PEREIRA, 2013).

De acordo com Gontijo e Santana (1985) apud Loiola (2009), o uso de CAP's em TSD se deu a partir de 1954, sendo que os tipos mais utilizados eram o CAP 150/200 e o CAP 85/100. O CAP 85/100 apesar das dificuldades durante a execução e na necessidade de aquecimento próximo ao limite recomendado, apresentou bom comportamento.

A temperatura de aplicação é muito importante na escolha do CAP a ser utilizado nos TSP. Vale ressaltar que a temperatura cai bruscamente, tanto no trajeto, quanto ao entrar em contato com a superfície. Em climas frios, é necessário CAP's mais moles (LOIOLA, 2009). Larsen (1985) ressalta a importância de se obedecer a um determinado limite de temperatura e aquecimento do CAP, pois, segundo ele, a viscosidade pode sofrer uma alteração irreversível, caso o ligante seja superaquecido ou seja sujeito a um aquecimento por um tempo considerável. O ligante sofre diminuição da penetração e da ductilidade, tornando-se quebradiço na pista, logo há uma redução considerável da vida útil do pavimento.

A oxidação térmica é quase dobrada para cada aumento de 10°C na temperatura (DICKINSON, 1980 apud LARSEN, 1985). O autor afirma ainda que a temperatura mínima de aquecimento é aquela correspondente à viscosidade máxima (60 SSF, pelo critério do DNIT) para uma distribuição uniforme do ligante, fundamental para que ocorra a correta impermeabilização da superfície. Porém como já foi citado, o ligante esfria rapidamente ao ser colocado na pista, então é necessário um espaçamento pequeno entre o esparrigador de ligante, esparrigador de agregado e compactador.

#### 2.4.3. Emulsão asfáltica

Pode-se dizer que a emulsão asfáltica marcou um ponto de partida para uma nova geração de ligantes, criada em 1922 pelo químico inglês Hugh Alan Mackay, porém apenas em 1951, na França, a Esso começou a colocar à disposição no mercado emulsões asfálticas catiônicas. Apenas em 1962 a emulsão asfáltica foi introduzida no Brasil, considerada tecnologia de ponta na época, pela empresa brasileira Betubras (ABEDA, 2010).

A princípio eram utilizadas as fórmulas francesas para a fabricação de emulsão no Brasil, que em seguida foram abandonadas e iniciou-se a fabricação utilizando novas fórmulas, adaptadas à realidade do clima, natureza e características dos agregados locais (PREGO, 2001). É inegável que o desenvolvimento das emulsões asfálticas catiônicas trouxe inúmeras vantagens para as técnicas de pavimentação, principalmente na conservação.

Atualmente com o surgimento de novas técnicas, a necessidade de utilização de novos materiais em detrimento de outros, aliados a um constante desenvolvimento de novos produtos, fez surgir novos tipos de emulsões asfálticas, são as emulsões modificadas por polímeros, possibilitando que esse ligante seja utilizado em qualquer tipo de tráfego, tornando o seu uso cada vez maior em todo o país.

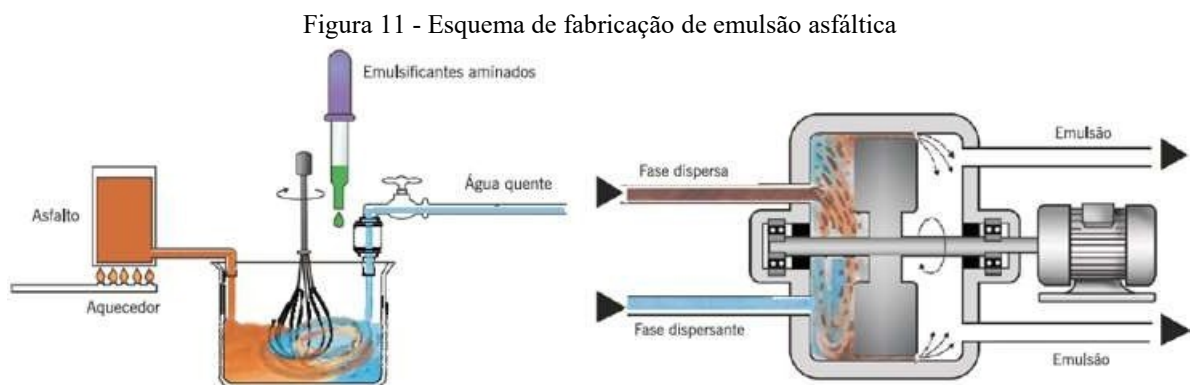
Uma emulsão é definida como uma dispersão estável de dois ou mais líquidos imiscíveis, como o leite e a maionese (ABEDA, 2010). Bernucci et al. (2010) definem emulsão asfáltica como uma dispersão estável em que os dois líquidos imiscíveis são água e CAP.

A *Asphalt Emulsion Manufacturers Association* (AEMA, 2019, tradução nossa) define emulsão asfáltica como:

Combinação de três componentes básicos: cimento asfáltico, água e emulsificante.  
Na emulsificação, esses componentes são introduzidos em um mecanismo

conhecido como moinho coloidal, que cisalha o asfalto em pequenos glóbulos. O emulsificante, que é um agente tensoativo, mantém os glóbulos em uma suspensão estável além de conferir estabilidade à ruptura. O resultado é um produto líquido de coloração marrom, com consistência variando entre a água e um creme, sendo usado em processos a frio de construção e manutenção de estradas.

A Figura 11 ilustra de forma resumida o processo de fabricação da emulsão asfáltica.



Fonte: Bernucci et al. (2010)

Geralmente as emulsões asfálticas são compostas por 30% a 50% de água, 50% a 70% de CAP e 0,1% a 2,5% de agente emulsificante. O tamanho dos glóbulos dispersos depende do moinho empregado e da viscosidade do ligante original, variando 1 a 20  $\mu\text{m}$  (ABEDA, 2010).

A classificação da emulsão asfáltica está intimamente ligada ao tipo de agente emulsificante utilizado em sua fabricação e segundo Bernucci et al. (2010), os emulsificantes possuem componentes com afinidade com a água e o óleo que serão responsáveis pela carga final que a emulsão apresentará.

As classificações das emulsões brasileiras são feitas analisando três características: o tempo de ruptura, o teor de asfalto da mistura e a carga iônica. Segundo a ABEDA (2010), as emulsões asfálticas utilizadas no Brasil são predominantemente catiônicas, em função do seu melhor desempenho e compatibilidade com os agregados minerais encontrados aqui. O autor traz ainda a seguinte classificação:

- Quanto à carga da partícula:
  - Catiônicas (+);
  - Aniônicas (-);

- Neutras (sem carga);
- Anfotéricas (ambas as cargas).
- Quanto ao tempo de ruptura:
  - RR – Ruptura rápida;
  - RL – Ruptura lenta;
  - RM – Ruptura média;
  - RC – Ruptura controlada

As emulsões asfálticas são de uso crescente na pavimentação em todo o mundo, uma vez que o consumo de energia é bem menor, bem como a poluição para o meio ambiente, sendo esses os motivos por serem muito utilizadas nos tratamentos superficiais, com a finalidade de reduzir mais os custos.

Porém segundo Loiola (2009), o emprego das emulsões asfálticas nem sempre foi bem-sucedido no Brasil, afirmando que muitos dos defeitos encontrados estão ligados a erros de dosagem e de execução. O principal erro é utilizar a mesma taxa de emulsão igual à que seria utilizada caso o ligante fosse o CAP puro, uma vez que que no processo de fabricação da emulsão tem-se a presença de água, que deve ser levada em consideração ao determinar a taxa de ligante.

Quando aplicada em Tratamento Superficial as emulsões asfálticas devem possuir a ruptura mais rápida possível, para garantir sua adesão e fixação imediata sobre o agregado (LARSEN, 1985). Vogt (1975) apud Larsen (1985) admite que se use emulsão RR-1C em tratamento múltiplo, desde que a desemulsibilidade seja maior que 70%, e que a viscosidade a 50°C esteja entre 40 a 80 SSF. Caso contrário e sempre em Tratamento Superficial Simples, usar a RR-2C.

A ABEDA (2010) traz uma série de vantagem para o uso de emulsões asfálticas catiônicas, dentre elas pode-se citar:

- Maior economia de energia por não precisar de aquecimento;
- Ótima adesividade com todos os tipos de agregados, eliminando o uso de dopes;
- Possibilita o uso de agregados secos ou úmidos;
- Estocagem simples e à temperatura ambiente;
- Sem riscos de incêndios e explosões por não usar solvente;
- Não gera vapores tóxicos e poluentes;
- Baixo custo de fabricação;

- Com o uso de polímeros tem possibilitado o uso em vias de alto tráfego.

Dentre as desvantagens, Melo (1978) apud Loiola (2009) menciona:

- Não desenvolver rapidamente a viscosidade;
- Controle de velocidade nos primeiros dias de operação da via;
- Pode exigir variação no processo de execução por penetração invertida;
- Em tratamentos com penetração invertida, há uma maior desagregação na última camada.

#### 2.4.4. Agregado

Agregado é um termo genérico utilizado para areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britadas. Há ainda de se considerar os agregados artificiais, como por exemplo a escória de alto-forno. Também há de se considerar o uso de agregados reciclados, com uso cada vez mais crescente, com o objetivo de reduzir custos ou na ausência de agregados próximos à obra, sendo que os resíduos de construção civil é um exemplo de agregado reciclado (BERNUCCI et al, 2010). Todo e qualquer revestimento asfáltico é composto por uma mistura entre agregados e ligantes.

O agregado a ser utilizado em tratamento superficial pode ser pedra britada, seixo rolado britado, cascalho britado ou outros tipos indicados no projeto (DERT-CE, 2000). Segundo Pereira (2013), os mesmos devem constituir-se de partículas limpas, duras, resistentes, isentas de torrões de argila e substâncias nocivas e a forma ideal é a cúbica, pois partículas achatadas e alongadas podem não ser totalmente cobertas pelo ligante.

O agregado é um material extremamente relevante no preço final de uma obra de pavimentação, pois, segundo Pereira (2013), representa aproximadamente 95% em peso e 85% em volume de uma mistura asfáltica. Junto a isso o gasto com frete pode elevar mais ainda o custo final. Um fator importante na escolha do agregado é a disponibilidade dos agregados locais e comparar a viabilidade técnica e econômica com os oriundos de outros locais.

Os Tratamentos Superficiais são, entre todos os revestimentos asfálticos os que mais solicitam o agregado, uma vez que o agregado sofre mais diretamente os esforços produzidos pelos veículos por seu contato direto, diferente das misturas asfálticas onde os agregados estão mais envolvidos pelo ligante e frações finas (PEREIRA, 2013). Em função

disso, faz-se necessário observar algumas características ao escolher o agregado a ser utilizado no TSP, sendo:

- Isenção de pó:

A presença de pó é um dos maiores inconvenientes que um agregado pode apresentar e frequentemente acontece com britas de calcário e arenito. Na presença de pó, o agregado deve ser obrigatoriamente lavado, pois apenas o peneiramento ou o jateamento com ar não é suficiente para deixar o agregado em boas condições. A presença do pó é um inconveniente pois o mesmo impede uma aderência satisfatória entre o ligante e o agregado (LOIOLA, 2009). Não pode haver em nenhuma hipótese a presença de vegetais, folhelhos, partículas moles, torrões de argila e películas de argila cobrindo o agregado.

- Resistência ao choque e à abrasão:

Durante todo o processo de manuseio e execução de revestimentos asfálticos, os agregados estão sempre sujeitos a quebra e abrasão, seja na produção na mistura, seja na compactação feita na pista. Durante o tráfego os agregados continuam submetidos a condições desfavoráveis com o peso dos veículos e frenagens, logo, o agregado deve ser capaz de resistir todos os esforços a que ele será submetido sem que ocorra quebra significativa. O ensaio utilizado para medir essa resistência é o ensaio de abrasão *Los Angeles* (DNER – ME 035/98), em que o agregado deve apresentar desgaste igual ou inferior a 40%.

- Forma e textura satisfatórias

A forma dos agregados modifica a trabalhabilidade da mistura asfáltica, o esforço de compactação necessário e influencia também na resistência da mistura. As partículas irregulares travam entre si e resistem melhor ao deslocamento. Obtém-se em geral um melhor travamento quando as partículas são cúbicas e possuem arestas bem definidas.

Trata-se de um parâmetro importante na avaliação da dosagem de materiais, bem como da estabilidade e das características antiderrapantes do TSP. Em geral as partículas de forma arredondadas, lamelar e alongadas devem ser evitadas, pois propiciam uma maior exsudação. Para Larsen (1985), a forma cúbica é a ideal para o agregado. O índice de forma (DNER – ME 086/94) é o parâmetro utilizado para analisar a forma das partículas.

Da mesma maneira que a forma das partículas, a textura superficial também influencia na trabalhabilidade e resistência das misturas asfálticas. A textura superficial

rugosa, em comparação com a lisa, tende a aumentar a resistência da mistura, porém exige uma maior quantidade de ligante para compensar a perda de trabalhabilidade. Não existe um método de medição da textura do agregado, porém esta característica influencia diretamente na resistência e na trabalhabilidade das misturas asfálticas.

- Granulometria adequada:

A granulometria do agregado é a distribuição do tamanho das partículas expressa em porcentagem do peso total (PEREIRA, 2013). A distribuição granulométrica dos agregados é uma das principais características dos agregados e influi diretamente no comportamento dos revestimentos asfálticos (BERNUCCI et al., 2010). Para a obtenção da granulometria faz-se o material passar por uma série de peneiras empilhadas e de aberturas progressivamente menores, pesando-se o material retido em cada peneira, a norma de padroniza esse ensaio é a DNER – ME 083/98.

Os tamanhos do agregado deverão ser escolhidos, principalmente, em função do tráfego e da natureza da superfície a tratar. Maior deverá ser o agregado, quanto maior foi o tráfego, em contrapartida, menor será o agregado, quanto mais resistente for o substrato (LARSEN, 1985).

O DNIT possui especificações de serviço para os três tipos de TSP. A Tabela 1 traz as especificações para TSS, TSD e TST de acordo com as normas DNIT 146/2012 – ES, DNIT 147/2012 – ES e DNIT 148/2012 – ES.

Tabela 1 - Faixas Granulométricas para TSP

Tratamento Superficial	Simples			Duplo			Triplô		
	A	B	C	1ª Camada	2ª Camada		Camadas		
				A	B	C	1ª	2ª	3ª
<b>1"</b>	-	-	-	100	-	-	90-100	-	-
<b>3/4"</b>	-	-	-	90-100	-	-	20-55	100	-
<b>1/2"</b>	-	100	100	20-55	100	-	0-10	90-100	-
<b>3/8"</b>	100	85-100	85-100	0-15	85-100	100	0-5	40-70	100
<b>#4</b>	85-100	10-30	0-10	0-5	10-30	85-100	-	0-15	85-100
<b>#10</b>	10-40	0-10	0-1	-	0-10	10-40	-	0-5	10-40
<b>#200</b>	0-2	0-2	-	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2

Fonte: DNIT (2012).

- Durabilidade

Alguns agregados que apresentam boa resistência mecânica podem sofrer processos de desintegração química quando expostos a condições ambientais desfavoráveis no

pavimento (BERNUCCI et al., 2010). Essa desintegração química pode fazer com que apareçam danos precocemente e no caso dos Tratamentos Superficiais haverá um desgaste maior que o previsto. A resistência a desintegração química é quantificada através do ensaio de sanidade, que consiste em submeter o agregado ao ataque de uma solução saturada de sulfato de sódio ou de magnésio. A perda de massa resultante desse ataque químico ao agregado deve ser de no máximo 12%. O ensaio é normatizado pelo método de ensaio DNER 089/94 - ME.

- Adesividade ao ligante

O efeito da água separar ou descolar a película de ligante asfáltico da superfície do agregado pode torna-lo impróprio para o uso em misturas asfálticas. Quando isso acontece, denomina-se o agregado de hidrófilo (BERNUCCI et al., 2010). Já os agregados que apresentam ótima adesividade na presença de água são denominados hidrofóbicos e são aceitáveis para o uso em pavimentação.

Porém quando não há disponibilidade de outro material hidrofóbico na execução, existe uma solução, que é adicionar um melhorador de adesividade à mistura, o “dope”, que deve ser adquirido separadamente e incorporado ao CAP no canteiro de obras, na porcentagem indicada, que segundo Loiola (2009), geralmente de 0,4 a 0,6% do peso de CAP utilizado na mistura.

Como já foi exposto, as emulsões asfálticas catiônicas apresentam boa adesividade com quase todos os agregados utilizados no Brasil, seja ele eletronegativo ou eletropositivo, dessa forma o uso do “dope” é quase sempre desnecessário.

## 2.5. Seixo Rolado

Segundo a ABNT (NBR 6502/1995) os seixos são partículas sedimentares clásticas, classificadas como pedregulhos, uma vez que possui diâmetro compreendido entre 2,00 e 60,00mm. Os mesmos possuem ainda superfície arredondada ou semi-arredondada.

Os dois processos fundamentais para que ocorra a formação desse tipo de rocha são o intemperismo e a erosão. Intemperismo são todos os processos químicos e físicos que desintegram e decompõem as rochas em fragmentos menores. Já a erosão compreende no conjunto de processos que desprendem o solo ou as rochas, levando-os para outros locais



onde são depositados em camadas de sedimentos (PRESS, 2006). Esses processos acabam formando dois tipos de sedimentos: os clásticos e os químicos ou bioquímicos.

Segundo Press (2006), os sedimentos químicos ou bioquímicos são formadas por substâncias químicas novas que se formam por precipitação quando alguns dos componentes das rochas dissolvem-se no decorrer do intemperismo. Tais componentes são carregados pelos rios até o mar e são compostos por halita (cloreto de sódio) e calcita (carbonato de cálcio), dentre outros.

Os sedimentos clásticos são partículas depositadas fisicamente, como os grãos de quartzo e feldspato derivados de um granito alterado. Tais sedimentos formam camadas de silte, areia e cascalho, assentados por meio da ação da água, do vento ou do gelo.

Depois de transportadas essas partículas entram em processo de litificação, ou seja, a transformação dessas partículas em rocha sólida. Esse processo ocorre de duas formas, por compactação, ou cimentação. A compactação ocorre com o depósito de novos grãos, fazendo peso sobre as camadas inferiores. A cimentação ocorre quando há precipitação de minerais ao redor das partículas. Por isso as rochas sedimentares apresentam estratificações, ou seja, camadas paralelas distintas (PRESS, 2006).

O seixo rolado (Figura 12) é naturalmente encontrado no fundo dos rios e possui superfície lisa e arredondada. Esse agregado é muito utilizado como pedra decorativa em jardins, canteiros e calçadas, bem como revestimentos em pisos e paredes, mas também pode ser utilizado na fabricação de concreto, de modo que não é necessário nenhum tratamento além da lavagem, em algumas cidades no Maranhão, como por exemplo Imperatriz, o seixo é muito mais utilizado que a brita como agregado no concreto, devido a sua maior disponibilidade na região, e conseqüentemente menor preço.

Figura 12 - Seixo Rolado



Fonte: O autor (2019).

## 2.6. Métodos de dosagem de Tratamentos Superficiais por Penetração

De forma geral podemos dizer que existem duas formas para dosar as taxas de agregados e ligantes aplicados nos tratamentos superficiais por penetração: os métodos diretos, onde a quantidade de agregado é determinada experimentalmente, e os métodos indiretos, onde as taxas de materiais são determinadas por meio de fórmulas que variam dependendo do método utilizado (PEREIRA, 2013).

Segundo Pereira (2013), o método direto mais usual é o ensaio de placa ou método de bandeja (Figura 13) que consiste em espalhar o agregado de maneira uniforme em uma placa ou bandeja de área conhecida (50x50cm). O agregado é disposto sobre a bandeja de maneira uniforme, sem que haja vazios e superposição. Pela diferença de peso calcula-se a taxa de agregado a ser aplicado por metro quadrado ( $\text{Kg/m}^2$ ).

Figura 13 - Método da bandeja.

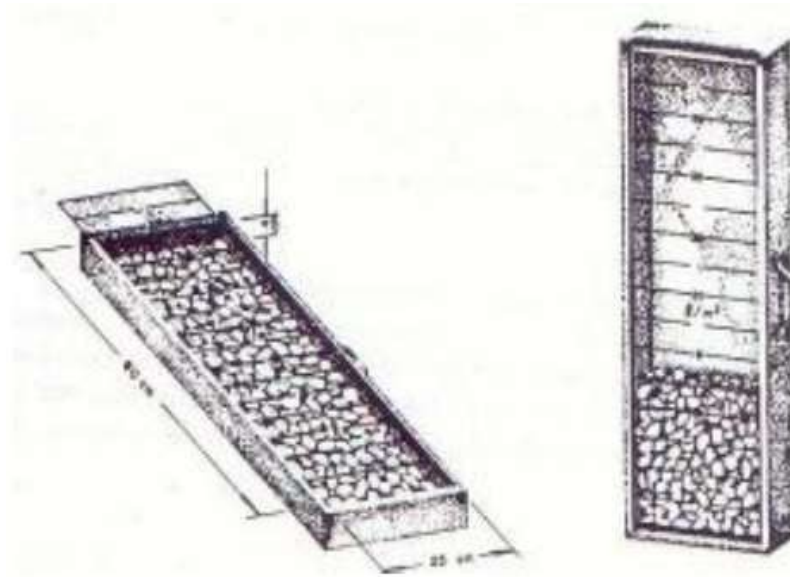


Fonte: O autor (2019).

Larsen (1985) recomenda o método da caixa dosadora (Figura 14), com dimensões de 80x25x4cm, onde o agregado é colocado sobre o fundo da caixa, em posição horizontal, num mosaico igual ao que se deseja na pista. Em seguida a caixa é levantada para a vertical e faz-se a leitura da taxa de agregado em  $\text{L/m}^2$ , com o auxílio da graduação marcada em uma face transparente.

Para Melo (1978) apud Loiola (2009), nos métodos indiretos, a quantidade de agregado a ser utilizada por  $\text{m}^2$  está diretamente ligada ao tamanho e forma dos grãos, admitindo-se que o objetivo é ter um mosaico uniforme e sem superposição. Dentre os métodos indiretos mais relevantes, pode-se citar os métodos de Hanson, da Califórnia, de Linckenheyl, de Lovering e de Tagle e Podestá, descritos a seguir.

Figura 14 - Caixa dosadora



Fonte: Larsen (1985).

### 2.6.1. Método de Hanson (PINTO, 2002 apud PEREIRA, 2013)

O engenheiro F. M. Hanson da Nova Zelândia, desenvolveu estudos que ainda formam a base para a maioria dos métodos de dosagem. A dosagem consiste em basicamente em alguns princípios básicos. Os agregados, após seu espalhamento sobre o ligante, encontram-se com um teor de vazios de aproximadamente 50%. Após a compactação esse teor cai para 30% e com o tráfego as partículas assumem sua posição final e o teor de vazios é reduzido para 20%. O teor de ligante nesses vazios corresponde de 50 a 70%. O método apresenta as seguintes expressões:

$$V_f = 1,6 \times d_o \quad (1)$$

$$V_e = 1,8 \times d_o \quad (2)$$

$$Q_L = 0,133 \times d_o \quad (3)$$

Onde:

$V_f$ : volume fixado de agregado, em L/m<sup>2</sup>;

$V_e$ : volume de agregado a espalhar, em L/m<sup>2</sup>;

$d_o$ : média da menor dimensão do agregado, em mm;

$Q_L$ : quantidade de ligante asfáltico, em L/m<sup>2</sup>.

### 2.6.2. Método de Califórnia (PINTO, 2002 apud PEREIRA, 2013)

Para esse método foi desenvolvido o conceito de Tamanho Máximo Efetivo (TME) a partir da análise granulométrica do agregado. O TME é a abertura da malha da peneira no qual passa 90% do agregado. O método consiste em três equações:

$$V_f = 0,7 \times TME \quad (4)$$

$$V_e = 1,8 \times TME \quad (5)$$

$$Q_L = 0,07 \times V_f + 0,33 \quad (6)$$

### 2.6.3. Método de Linckenheyl (PINTO, 2002 apud PEREIRA, 2013)

Nesse método admite-se que a dosagem está ligada ao diâmetro máximo (D) e mínimo (d) do material, desde que não ultrapasse a relação  $d \geq 0,60D$ . Neste caso D e d compreendem aberturas das peneiras nas quais passam 90 e 10%.

O volume fixado de agregado é dado em função do diâmetro médio:

$$D_m = (D + d) \div 2 \quad (7)$$

$$V_f = D_m - (D_m^2 \div 100) \quad (8)$$

$$V_e = V_f + (D_m \div 4) + 0,875 \quad (9)$$

$$Q_L = 0,0833 \times V_f + 0,2 \quad (10)$$

### 2.6.4. Método de Lovering (PINTO, 2002 apud PEREIRA, 2013)

Nesse método o Módulo de Espalhamento (M) é correlacionado à quantidade necessária para formar um mosaico sem superposição de partículas. O módulo de espalhamento é calculado como a média ponderada dos tamanhos médios das proporções que contém 20% de fragmentos pequenos, 60% de fragmentos médios e 20% de fragmentos grandes. As quantidades a serem espalhadas são dadas por:

$$V_e = 0,2 \times M \quad (11)$$

$$Q_L = 0,07 \times M \quad (12)$$

### 2.6.5. Método de Tagle e Podestá (PINTO, 2002 apud PEREIRA, 2013)

Através deste método que também trabalha com o conceito de tamanho máximo e mínimo, foram estabelecidas, pelos autores a seguinte equação:

$$Q_{ag} = K \times (D + d) \div 2 \quad (13)$$

Onde:

$Q_{ag}$ : quantidade de agregado, em L/m<sup>2</sup>;

D e d: diâmetros máximo e mínimo do agregado de cada camada, em mm;

K=1,0 para o agregado da 1<sup>a</sup> camada do TSD e TST;

K=1,1 para o agregado da 2<sup>a</sup> camada do TST ou 1<sup>a</sup> camada do TSS;

K=1,2 para o agregado da 2<sup>a</sup> camada do TSD ou 3<sup>a</sup> camada do TST.

O ligante pode ser estimado a partir da quantidade de agregado, dividindo-se a quantidade de agregado por dez.

### 2.6.6. Taxas de aplicação das especificações do DNIT

As taxas de aplicação de ligantes e agregados devem ser definidas em projeto. Mas o DNIT (2012) traz tabelas que mostram intervalos para taxas de ligantes e agregados a serem aplicados nos Tratamentos Superficiais por Penetração (Tabela 2). Porém segundo Pereira (2013) os limites estabelecidos pela norma são bem maiores que os obtidos através de outros métodos de dosagem e que dificilmente taxas maiores que 20kg/m<sup>2</sup> são praticadas em campo.

Tabela 2 - Taxa de aplicação segundo DNIT

Tratamento Superficial		Simples		Duplo		Triplo	
		Agregado	Ligante	Agregado	Ligante	Agregado	Ligante
Camada	1 <sup>a</sup>	8-12 Kg/m <sup>2</sup>	0,8-1,2 L/m <sup>2</sup>	20-25 Kg/m <sup>2</sup>	2-3 L/m <sup>2</sup>	20-25 Kg/m <sup>2</sup>	2-3 L/m <sup>2</sup>
	2 <sup>a</sup>	-	-	10-12 Kg/m <sup>2</sup>	2-3 L/m <sup>2</sup>	10-12 Kg/m <sup>2</sup>	2-3 L/m <sup>2</sup>
	3 <sup>a</sup>	-	-	-	-	5-7 Kg/m <sup>2</sup>	2-3 L/m <sup>2</sup>

Fonte: DNIT (2012).

### 2.6.7. Taxas de aplicação das especificações do DERT-CE

O DERT-CE (2000) traz um método de dosagem semelhante ao método de dosagem de Tagle e Podestá, com uma alteração do coeficiente K em duas especificações de serviço, sendo elas DERT-ES-P 10/2000 e DERT-ES-P 11/2000, para TSS e TSD, respectivamente.

$$T_{ag} = K \times (D + d) \div 2 \quad (14)$$

Onde:

$T_{ag}$ : quantidade de agregado, em L/m<sup>2</sup>;

D e d: diâmetros máximo e mínimo do agregado de cada camada, em mm;

K=0,9 se  $d \geq 16\text{mm}$ ;

K=0,93 se  $10\text{mm} \leq d < 16\text{mm}$ ;

K=1,1 se  $d < 10\text{mm}$ .

Em seguida utiliza-se o método da bandeja para confirmar a taxa de agregado. Para saber a taxa de agregado em L/m<sup>2</sup> basta colocar uma quantidade de agregado em um recipiente de dimensões conhecidas e conhecer a massa específica solta e fazer a conversão. A taxa de agregado a espalhar é a taxa encontrada pelo método da bandeja aumentada em 5%.

A taxa de ligante é definida em função da taxa de agregado, e é dada por:

$$T_{cap} = \frac{T_g}{12} \quad (15)$$

Onde:

$T_{cap}$ : taxa de CAP, em L/m<sup>2</sup>;

$T_{ag}$ : taxa de agregado, em L/m<sup>2</sup>.

Para o cálculo das taxas de emulsões asfálticas é necessário utilizar fatores de correção uma vez que para emulsões asfálticas do tipo RR-1C a taxa de CAP é de 62%, já para RR-2C a taxa de CAP é de 67%. Além disso, segundo Loiola (2009), devido a sua menor viscosidade, ocorre um melhor aproveitamento da emulsão asfáltica catiônica em aproximadamente 10% comparado ao CAP.

Assim as fórmulas para o TSS são:

$$T_{RR-1C} = \frac{0,94 \times T_{cap}}{0,62} \times \frac{T_g}{12} \text{ ou } T_{RR-1C} = 0,126 \times T_g \quad (16)$$

$$T_{RR-2C} = \frac{0,94 \times T_{cap}}{0,67} \times \frac{T_g}{12} \text{ ou } T_{RR-2C} = 0,117 \times T_g \quad (17)$$

E para o TSD são:

$$T_{RR-1C} = \frac{0,90 \times T_{cap}}{0,62} \times \frac{T_g}{12} \text{ ou } T_{RR-1C} = 0,121 \times T_g \quad (18)$$

$$T_{RR-2C} = \frac{0,90 \times T_{cap}}{0,67} \times \frac{T_g}{12} \text{ ou } T_{RR-2C} = 0,112 \times T_g \quad (19)$$

Onde:

$T_g$ : quantidade de agregado, em  $L/m^2$ ;

$T_{RR-1C}$ : taxa de emulsão asfáltica RR-1C, em  $L/m^2$ ;

$T_{RR-2C}$ : taxa de emulsão asfáltica RR-2C, em  $L/m^2$ ;

$T_{CAP}$ : taxa de CAP, em  $L/m^2$ .

O DERT-CE (2000) ainda recomenda ainda que a proporção entre a primeira e segunda aplicação de ligante deve ser de aproximadamente 40% na primeira aplicação e 60% na segunda. É de grande valia subtrair  $0,5L/m^2$  de emulsão asfáltica, diluir em água na proporção 1:1 e aplicar esse banho diluído ( $1L/m^2$ ) após a 2ª compactação.

#### 2.6.8. Taxas de aplicação da capa selante

Para determinação das taxas de ligante e agregados da capa selante foi utilizado os valores estabelecidos pela norma DER/PR ES-P 19/05. A mesma fixa valores tanto para o agregado quanto para o ligante. Segundo o DER/PR (2005), não é possível uma dosagem racional da capa selante, seja direta ou indiretamente, devido à natureza do material e da influência da superfície a ser tratada e geralmente adota-se taxas estabelecidas pela experiência de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Taxas de aplicação para capa selante

<b>Taxas</b>	<b>Tratamentos Superficiais recém construídos</b>	<b>Misturas asfálticas densas, desgastadas superficialmente e moderadamente trincadas</b>	<b>Misturas asfálticas a frio abertas ou semidensas</b>	<b>Misturas asfálticas muito desgastadas superficialmente e moderadamente trincadas</b>
<b>Agregado miúdo</b>	2-4 Kg/m <sup>2</sup>	2-3 Kg/m <sup>2</sup>	3-5 Kg/m <sup>2</sup>	4-6 Kg/m <sup>2</sup>
<b>RR-2C pura</b>	0,5 L/m <sup>2</sup>	-	0,8 L/m <sup>2</sup>	-
<b>RR-2C diluída em água</b>	1 L/m <sup>2</sup>	-	1 L/m <sup>2</sup>	-
<b>RR com polímero</b>	-	0,6-0,7 L/m <sup>2</sup>	0,7 L/m <sup>2</sup>	0,8-1 L/m <sup>2</sup>

Fonte: DER/PR (2005).



### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste estudo teve como propósito cumprir todos os objetivos propostos, e foi composta pelos seguintes itens:

- Revisão literária sobre tratamentos superficiais;
- Coleta do seixo rolado e areia média;
- Caracterização dos agregados;
- Coleta da emulsão RR-2C;
- Caracterização do ligante;
- Determinação das taxas de agregado e ligante (dosagem);
- Confeção das mantas de Tratamento Superficial Duplo em laboratório;
- Realização dos ensaios de Mancha de Areia e *Wet Track Abrasion Test* – WTAT;
- Comparar os resultados obtidos com outros autores.

No item 4, a seguir, apresenta-se de forma detalhada, a discriminação dos materiais, bem como todos os métodos de ensaios utilizados nesse estudo.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Considerações iniciais**

A seguir estão apresentados os materiais utilizados no presente trabalho bem como todos os ensaios realizados a fim de caracterizá-los, explicitando também os respectivos métodos de ensaios. Posteriormente detalha-se a metodologia utilizada para execução de TSD em laboratório, tentando aproximar-se ao máximo do executado em campo. Também, é avaliado o revestimento de acordo com duas características importantes: o desgaste de abrasão úmida *Wet Track Abrasion Test* – WTAT e a macrotextura do revestimento.

Durante o trabalho, buscou-se ao máximo aproximar as técnicas desenvolvidas no laboratório daquelas utilizadas na pista, mas em uma escala reduzida. A metodologia seguida foi aquela desenvolvida inicialmente por Loiola (2009) e posteriormente aprimorada por Pereira (2013), com a finalidade de avaliar a viabilidade dos tratamentos superficiais por penetração utilizando o ensaio de desgaste por abrasão úmida WTAT, já utilizado para avaliar microrrevestimentos asfálticos.

Alguns cuidados especiais foram tomados no espalhamento do ligante e do agregado para aproximar-se do executado em campo, porém foi necessário realizar algumas adaptações nos equipamentos utilizados.

Foram utilizados o seixo rolado, areia média e emulsão asfáltica RR-2C, sendo moldadas um total de 18 amostras, também chamadas de pizzas ou mantas. Foram feitos dois tipos de pizzas: TSD e TSD com capa selante (TSD+CS). Ao final foi feito um comparativo entre os dois tipos de acordo com as características anteriormente citadas. Vale ressaltar que de acordo com resultados obtidos por outros autores como Macêdo (2018) não houve diferença para o revestimento com a aplicação apenas do banho diluído, por isso o mesmo não foi analisado no presente trabalho.

### **4.2. Coleta de materiais**

Nesse estudo foram utilizados o seixo rolado, a areia média e a emulsão asfáltica RR-2C. O seixo rolado e a areia (Figura 15) utilizados foram cedidos pelo Laboratório de Solos e Pavimentação (LSP), disponível em seu depósito de materiais, e a emulsão asfáltica RR-2C que foi cedida pela empresa de pavimentação Edeconsil (Figura 16).

Figura 15 - Areia (a) e seixo rolado (b) utilizados nesse estudo.



Fonte: O autor (2019).

Figura 16 – Emulsão RR-2C utilizada nesse estudo



Fonte: O autor (2019).

### 4.3. Ensaio de Caracterização dos agregados

Os agregados foram ensaiados para verificar se os mesmos atendem exigências estabelecidas pela norma DNIT 147/2012 – ES, que trata sobre Tratamentos Superficiais Duplos. Os ensaios para o agregado graúdo são o de granulometria (DNER-ME 083/98), índice de forma (ABNT NBR 6954/89), adesividade ao ligante (DNER-ME 078/94), abrasão *Los Angeles* (DNER – ME 035/98) e durabilidade (DNER – ME 089/94). Para o agregado miúdo foram realizados os ensaios estabelecidos pela norma DER/PR ES-P 19/05: equivalente de areia (DNER – ME 054/97) e granulometria.

#### 4.3.1. Granulometria

A análise granulométrica do agregado segue o disposto no método de ensaio DNER – ME 083/98: “Agregados, análise granulométrica” que estabelece o procedimento para a análise dos agregados graúdos e miúdos por peneiramento. O ensaio de granulometria define em porcentagem a variedade dos tamanhos dos agregados e permite definir a curva granulométrica da amostra de agregado, observando a porcentagem retida em cada peneira. Outros ensaios como índice de forma e abrasão *Los Angeles* utilizam o resultado da análise granulométrica.

De posse da curva granulométrica do agregado, é possível analisar se o seixo rolado se enquadra nas faixas estabelecidas pela norma DNIT 147/2012-ES (Tabela 4), para Tratamentos Superficiais Duplos.

Tabela 4 - Granulometria dos agregados no TSD

Peneiras		% passando, em peso			Tolerância das faixas de projeto
Malha	mm	1ª Camada	2ª Camada		
		A	B	C	
1"	25,40	0	-	-	±7
3/4"	19,00	90-100	-	-	±7
1/2"	12,70	20-55	100	-	±7
3/8"	9,50	0-15	85-100	100	±7
#4	4,80	0-5	10-30	85-100	±5
#10	2,00	-	0-10	10-40	±5
#200	0,074	0-2	0-2	0-2	±2

Fonte: DNIT (2012).

Separa-se uma quantidade estabelecida pela norma de acordo com o tamanho máximo do agregado, que é seca em estufa a 110° C por 24 horas. Após a secagem com a constância de peso a amostra é esfriada até a temperatura ambiente e pesada para determinação da massa total. A amostra é submetida à agitação manual sobre uma sequência de peneiras estabelecidas pela norma DNER – ME 083/98 (Figura 17). O resultado é analisado com base no peso retido em cada peneira em comparação com o peso total.

Figura 17 - Conjunto de peneiras (a) e material retido em cada uma delas (b).



Fonte: O autor (2019).

#### 4.3.2. Abrasão *Los Angeles*

A resistência à abrasão do agregado é avaliada através do método de ensaio DNER – ME 035/98: “Agregados – Determinação da abrasão *Los Angeles*” que determina o desgaste sofrido pelo material quando colocado dentro do equipamento *Los Angeles*, presente no Laboratório de Concreto e Materiais de Construção – LABCON, juntamente com uma carga abrasiva e submetido a um número específico de revoluções (Tabela 5) à velocidade de 30rpm.

Para a execução desse ensaio separa-se uma amostra de seixo 1, da faixa A do TSD, onde enquadrou-se na graduação B da norma. Já o seixo 0, utilizado na faixa B do TSD, enquadrou-se na graduação C (Tabela 5).

A seguir a amostra é lavada e seca na estufa a 110° C até a constância de peso e pesada para determinação da massa inicial. Em seguida é colocada no equipamento *Los Angeles* junto com as esferas de aço. Após as revoluções estabelecidas, a amostra é lavada na peneira de abertura 1,7mm e novamente seca em estufa a 110° C (Figura 18). O desgaste é calculado com a relação entre a massa inicial e a massa que passa na peneira de abertura 1,7mm.

Tabela 5 - Graduação para ensaio *Los Angeles*

Peneiras Abertura em mm		Amostra - Massa parcial em gramas						
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	50	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	38	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
38	25	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
25	19	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19	12,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	9,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	6,3	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	4,8	-	-	2500±10	-	-	-	-
4,8	2,4	-	-	-	5000±10	-	-	-
<b>Massas Totais em gramas</b>		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
<b>Nº de Rotações do Tambor</b>		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fonte: DNER (1998).

Figura 18 - Ensaio de abrasão *Los Angeles*: material sendo sujeito a revoluções dentro da máquina (a); material separado com a carga abrasiva (b); material após o desgaste e antes da lavagem (c).

Fonte: O autor (2019).

#### 4.3.3. Adesividade

A adesividade do agregado ao ligante é determinada de acordo com o método de ensaio DNER-ME 078/94: “Agregados – Adesividade a ligante betuminoso”. O método de ensaio estabelece que deve-se fazer uma avaliação visual, determinando se o agregado tem ou



não a capacidade de ser aderido pelo material betuminoso. Essa adesão é verificada quando não há deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado quando a mistura é mantida submersa em água destilada durante 72 horas na temperatura de 40° C.

A amostra de agregado é primeiramente separada e pesada 500g, a seguir é lavada em água destilada durante 1 minuto e colocada por duas horas na estufa a 110° C. Após a secagem do agregado, espera-se que o mesmo volte à temperatura ambiente para então misturá-lo com 17,5g de emulsão asfáltica RR-2C até que todo o agregado estivesse recoberto (Figura 19). Após a cura da emulsão, a mistura é colocada em água destilada e na estufa por 72 horas a 40°C.

Como já exposto anteriormente, as emulsões asfálticas catiônicas apresentam boa adesividade com quase todos os agregados utilizados no Brasil, seja ele eletronegativo ou eletropositivo, dessa forma o uso do “dope” é quase sempre desnecessário.

Figura 19 - Ensaio de Adesividade: Material a ser lavado em água destilada por 1 minuto (a); adição de 17,5g de emulsão asfáltica RR-2C (b).



Fonte: O autor (2019).

#### 4.3.4. Índice de forma

A forma das partículas é determinada de acordo com a norma ABNT NBR 6954/89. Com o auxílio de um paquímetro (Figura 20) são medidas as três dimensões das partículas: comprimento (a), largura (b) e espessura (c) de 200 grãos determinados de acordo com a granulometria, proporcional à porcentagem retida em cada peneira. Ao final calcula-se as médias das três medidas e faz-se as relações determinadas pela norma e classificadas de acordo com o Quadro 1 em cúbica, alongada, lamelar e alongada-lamelar.

Figura 20 - Determinação do índice de forma com paquímetro: dimensões a, b e c do agregado.



Fonte: O autor (2019).

Quadro 1 - Classificação da forma dos agregados

Médias das Relações $b/a$ e $c/b$	Classificação da forma
$b/a > 0,5$ e $c/b > 0,5$	Cúbica
$b/a < 0,5$ e $c/b > 0,5$	Alongada
$b/a > 0,5$ e $c/b < 0,5$	Lamelar
$b/a < 0,5$ e $c/b < 0,5$	Alongada-Lamelar

Fonte: Bernucci et al. (2010).

#### 4.3.5. Equivalente de areia

A determinação do Equivalente de areia (Figura 21) obedeceu a norma DNER – ME 054/97. Prepara-se a solução diluída com 5L de água e 125mL de solução concentrada e preenche-se o tubo de ensaio até a marca de  $h=10\text{cm}$ . Em seguida pega-se uma cápsula de 88 mL de solo passante na peneira de abertura 4,8mm, sem compactação e rasurado, e coloca-se no tubo com o auxílio de um funil. A mistura é deixada em repouso por 10 minutos e a seguir é agitada durante 90 ciclos de ida e volta, para a esquerda e para a direita. Após a agitação, com auxílio do bico lavador, lava-se as paredes do tubo e preenche-se o mesmo até a marca que indica a altura de 38cm e então deixa-se o conjunto em repouso, sem perturbação por mais 20 minutos. Após essa etapa, é realizada a leitura  $h_1$ , da base do tubo, até o nível superior da suspensão argilosa. Introduce-se o pistão cuidadosamente até que o mesmo pare ao atingir o topo da camada de areia, o mesmo é fixado e girado, para que possibilite a visualização dos parafusos, a leitura  $h_2$  é feita da base até o centro dos parafusos. O equivalente de areia é determinado pela equação 20.



$$EA(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (20)$$

Figura 21 - Ensaio de Equivalente de areia: (a) agitação; (b) adição do agregado; (c) solução diluída e tubo de ensaio; (d) adição da solução e lavagem das paredes do tubo; (e) repouso; (f) pistão com peso.



Fonte: O autor (2019).

#### 4.3.6. Durabilidade

O ensaio de durabilidade é realizado seguindo o método de ensaio descrito pela norma DNER – ME 089/94: “Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de solução de sulfato de sódio ou de magnésio” e avalia a resistência do agregado quando o mesmo é submetido ao ataque de agentes químicos. O método consiste em intercalar ciclos de imersão do agregado em uma solução saturada de sulfato de sódio ou de magnésio e secagem em estufa. Cada imersão por 16 a 18 horas seguida de uma secagem em estufa corresponde a 1 ciclo. São realizados 5 ciclos e ao final do último ciclo a amostra é lavada em uma solução de cloreto de bário. A perda de massa é determinada pela porcentagem em peso de cada fração das amostras que após o ensaio passou na peneira na qual originalmente era retida.

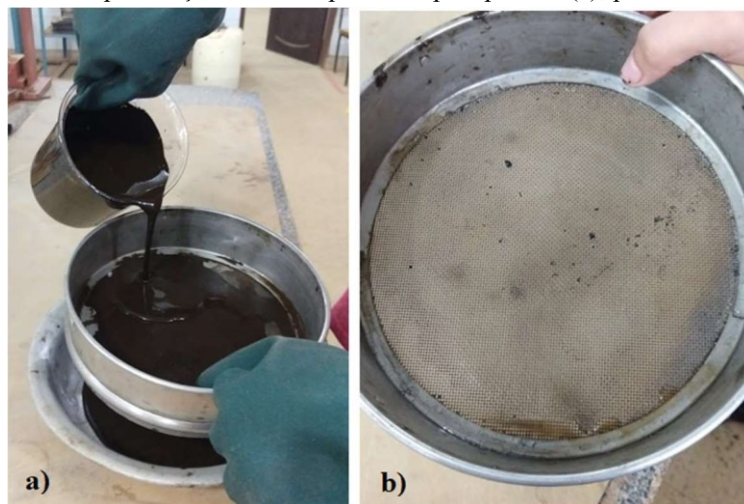
#### 4.4. Ensaio de caracterização do ligante

O ligante foi submetido a alguns ensaios para avaliar se o mesmo se encontrava de acordo com as especificações brasileiras presentes na norma DNIT 165/2013 – EM: “Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de Material”. Os ensaios necessários para a caracterização do material são o peneiramento (ABNT NBR 14393/99), carga de partícula (DNIT 156/11 – ME), o de viscosidade Saybolt-furol (ABNT NBR 14491/00), o resíduo por evaporação (DAER/RS EL 210/01), de desemulsibilidade (ABNT NBR 6569/05) e de sedimentação (ABNT NBR 6570/00).

##### 4.4.1. Peneiramento

Peneiramento ou peneiração, como o próprio nome já diz, consiste em peneirar aproximadamente 1000g de emulsão asfáltica e determinar a porcentagem em massa retida na peneira de abertura 0,84mm. O ensaio (Figura 22) é realizado de acordo com a norma ABNT NBR 14393/99. Inicialmente separa-se aproximadamente 1000g de emulsão. Pesa-se a peneira nº 20 (0,84mm) e o fundo antes do ensaio, a seguir verte-se o béquer até que toda a emulsão passe pela peneira úmida com água destilada. Lava-se o recipiente com água destilada até que toda a amostra passe pela peneira. Coloca-se o fundo e a peneira na estufa a 105°C por 2 horas e pesa-se a variação em peso do conjunto. É indesejável que a emulsão contenha pelotas ou grumos de CAP que ficam retidos na peneira.

Figura 22 - Ensaio de peneiração: emulsão passando pela peneira (a); pelotas de CAP retidas (b)

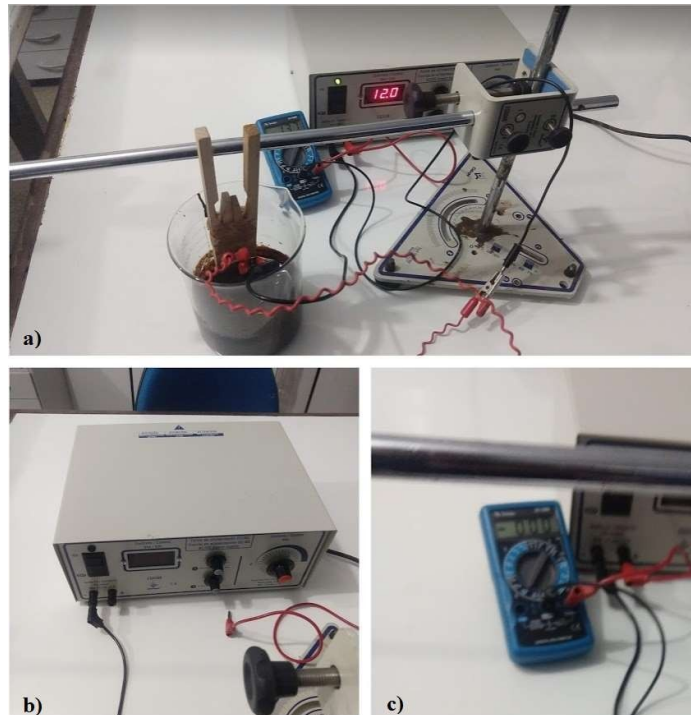


Fonte: O autor (2019).

#### 4.4.2. Carga de partícula

Este ensaio (Figura 23) foi possível apenas no Laboratório de Física Elétrica da UEMA, com o auxílio do professor Pestana, já que o mesmo dispõe de uma fonte de 12V, necessária para a execução do deste ensaio. A amostra é colocada em um béquer de modo que as duas placas de aço inoxidável de medidas 10x2,5cm fossem mergulhadas pelo menos 2,5cm. Liga-se a fonte de corrente e observa-se o depósito de material em uma das placas. Uma emulsão catiônica deposita CAP no cátodo (eletrodo negativo) já uma emulsão aniônica deposita CAP no anodo (eletrodo positivo). O método de ensaio foi executado de acordo com a norma DNIT 156/2011 – ME.

Figura 23 - Carga de partícula: (a) conjunto para realização do ensaio; (b) Fonte de 12V; (c) Amperímetro



Fonte: O autor (2019).

#### 4.4.3. Viscosidade Saybolt-Furol

O ensaio de viscosidade Saybolt-Furol é realizado seguindo as normas técnicas da ABNT NBR 14491/2000. Essa norma fixa o método de ensaio para determinação da consistência da emulsão asfáltica. A viscosidade determina a trabalhabilidade da emulsão e é influenciada pela quantidade de asfalto presente, pelo emulsificante e pelo tamanho dos glóbulos. Viscosidade Saybolt-furol é o tempo em segundos que um ligante a uma

determinada temperatura escoo 60mL em um fluxo contínuo pelo orifício de dimensões padronizadas. A viscosidade final é dada em segundo Saybolt-furol (sSF). A amostra é aquecida até a temperatura estabelecida e então abre-se o orifício, nesse momento inicia-se a contagem dos segundos com o auxílio de um cronômetro.

#### 4.4.4. Resíduo por evaporação

O ensaio de resíduo por evaporação (Figura 24) é realizado seguindo a norma técnica DAER/RS EL 210/01 que consiste na determinação da quantidade de material asfáltico contido na emulsão. O conjunto bastão e béquer é pesado e anota-se a tara. Em seguida coloca-se 50g de emulsão, e novamente pesa-se o conjunto. Leva-se o conjunto à uma fonte de calor até que evapore toda a água, o mesmo ocorre quando não há mais bolhas na superfície e não se identifica a saída do vapor d'água. Pesa-se novamente e tem-se o peso somente do CAP presente na mistura.

Figura 24 - Água evaporando da emulsão



Fonte: O autor (2019).

#### 4.4.5. Desemulsibilidade

O ensaio de desemulsibilidade é realizado seguido a norma ABNT NBR 6569/2008. O mesmo é realizado para determinar se uma quantidade conhecida de emulsão é rompida totalmente pela adição de um reagente adequado (aerossol OT a 0,8% + dioctil sulfosuccinato de sódio). O ensaio depende do resultado obtido no ensaio de resíduo por evaporação. Coloca-se 100g de emulsão com 35g de reagente em um béquer. O conjunto é

agitado por 2 minutos com auxílio de um béquer e posteriormente passado pela peneira de abertura 1,4mm. O resíduo é seco e pesado. A desemulsibilidade é dada pela divisão do resíduo de desemulsibilidade pelo resíduo da evaporação, ambos em gramas.

#### 4.4.6. Sedimentação

O ensaio de sedimentação é realizado de acordo com o método de ensaio descrito na ABNT NBR 6570/00. Coloca-se em repouso durante 5 dias 500mL de emulsão asfáltica em uma proveta que possui uma saída por cima e outra por baixo. Após esse período tira-se aproximadamente 55mL do topo e 55mL do fundo da proveta e coloca-se por 2 horas na estufa a 163°C. Após esse período agita-se o resíduo e coloca-se novamente na estufa por mais 1 hora e remover, deixa-se esfriar até a temperatura ambiente. Pesa-se as amostras e determina-se o resíduo por diferença de peso.

### 4.5. Dosagem de materiais

O método de dosagem para o TSD adotado no presente trabalho foi o método do DERT-CE (2000). Segundo Loiola (2009) esse tipo de revestimento é amplamente usado no estado do Ceará, podendo corresponder a realidade do nosso estado, pela proximidade entre os mesmos. Já para a capa selante, adotou-se as tabelas do DER/PR (2005).

#### 4.5.1. Taxa de agregado

Conhecendo a granulometria dos materiais, determina-se as taxas de agregados de acordo com a equação 14. A seguir utiliza-se o método da bandeja para comparar a taxa de agregado encontrada através da equação.

Primeiramente pesa-se a bandeja utilizada. Arruma-se manualmente sobre uma bandeja plana de dimensões conhecidas (50cm por 30cm) de modo a cobrir todo o fundo, obtendo um mosaico uniforme de agregado sem que haja superposição ou falhas as partículas da faixa A (seixo 1) de modo a se ver o mínimo possível do fundo e a seguir as partículas da faixa B (seixo 0) sobre a primeira camada (Figura 25). Por diferença de peso, tem-se a taxa efetiva em peso. Divide-se pela área da bandeja e temos a taxa efetiva em Kg/m<sup>2</sup>.



Figura 25 - Método da bandeja



Fonte: O autor (2019).

Para fazer as devidas conversões entre  $L/m^2$  e  $Kg/m^2$  faz-se necessário conhecer a massa específica solta do agregado. O mesmo é feito colocando-se o agregado em uma caixa de dimensões conhecidas ( $22cm \times 22,4cm \times 20cm$ ), ilustrada na Figura 26. Anota-se o peso do agregado (descontando o peso da caixa) e divide-se pelo volume da caixa. Para obter a taxa de agregado em  $L/m^2$  basta dividir a taxa obtida em  $Kg/m^2$  pela massa específica solta, dada em  $Kg/L$ . Segundo do DERT-CE (2000), a taxa de agregado a espalhar em volume é determinada pela taxa efetiva em  $L/m^2$  acrescida de 5%.

Figura 26 - Caixa e trena utilizadas



Fonte: O autor (2019).

#### 4.5.2. Taxas de ligante

Assim como as taxas de agregado, as do ligante também foram determinadas de acordo o método do DERT-CE (2000), com a equação 19. Vale ressaltar a necessidade de

transformar as taxas de agregados de  $\text{Kg/m}^2$  para  $\text{L/m}^2$  antes de colocar esse valor na equação e de adequar o valor calculado para CAP para emulsões asfálticas catiônicas.

#### **4.6. Confeção das Mantas e ensaio de desgaste WTAT**

A confeção das mantas foi feita de maneira semelhante ao método feito por Pereira (2013), utilizando um rolo compactador de concreto, simulando a ação de um rolo compactador liso utilizado em campo e eliminando a variável força do compactador presente no modo de compactação utilizado por Loiola (2009). Segundo Loiola (2009), para o TSD, no caso de se utilizar o rolo liso, deve-se aplicar de 2 a 4 passagens sobre a primeira camada de agregado e de 2 a 3 passagens sobre a segunda camada de agregados. Então optou-se por estabelecer 4 passagens sobre a primeira camada e 3 passagens sobre a segunda, a fim de obter-se a melhor compactação possível.

Vale lembrar que o processo seguiu a ABNT NBR 14746: “Microrrevestimento a frio e lama asfáltica – determinação de perda por abrasão úmida (WTAT) ” com adaptações feitas inicialmente por Loiola (2009) e melhoradas por Pereira (2013). O ensaio determina a perda por abrasão úmida, simulando a ação do tráfego e da água. Por não ser uma norma específica para TSD não se tem parâmetros de perda em  $\text{Kg/m}^2$  para esse tipo de revestimento, e a própria norma DNIT 147/2012 – ES não exige a realização de ensaios que avalie o desgaste.

A primeira aplicação de ligante sobre a manta asfáltica é feita com o auxílio de um bôquer contendo uma quantidade pré-definida de emulsão asfáltica e posterior espalhamento, a fim de obter homogeneidade na distribuição. Para a segunda aplicação utiliza-se um pincel de borracha.

Para a compactação das camadas de agregado utilizou-se um tambor de concreto com as dimensões de 45cm de altura e 17cm de diâmetro e peso aproximado de 55kg, muito próximo ao utilizado por Pereira (2013), diferente do rolo utilizado por Loiola (2009), o compactador melhora o procedimento experimental pelo fato de eliminar a variável força do operador.

A confeção das mantas de TSD é realizada utilizando um anel metálico de 28,5cm de diâmetro como molde, resultando em uma área de  $0,051\text{m}^2$ , pois é o mesmo diâmetro da bandeja utilizada no ensaio de WTAT. As amostras são moldadas sobre placas de manta asfáltica de 3mm de espessura, um material impermeável e flexível que, segundo Loiola (2009) é semelhante a uma camada imprimada de pavimento. O conjunto manta e anel

é apoiado sobre uma placa de MDF envolvida com papel filme para auxiliar o transporte entre a balança e o chão, para a passagem do compactador. O papel filme impede que a placa fique grudada ao anel. Os insumos utilizados são o seixo rolado e a emulsão RR-2C. A Figura 27 traz o aparelho utilizado para desgastar as mantas. O mesmo realiza movimentos circulares causando esforços de torção na camada superior, forçando o desprendimento dos agregados quando a mangueira presente no aparelho entra em atrito com a manta.

Figura 27- Máquina utilizada no ensaio WTAT.



Fonte: O autor (2019).

As mantas foram elaboradas no Laboratório de Solos e Pavimentação – LSP da UEMA, e os materiais são previamente separados de acordo com a dosagem determinada (Figura 28), para que o espalhamento do agregado ocorra imediatamente após o espalhamento do ligante. A confecção seguiu os seguintes procedimentos.

Figura 28 - Materiais previamente separados



Fonte: O autor (2019).



- I. Pesa-se o conjunto bandeja, manta asfáltica e anel em uma balança de 10.000g e com precisão de 0,1g (Figura 29b);
- II. Faz-se a primeira aplicação de ligante a 60°C vertendo-se o bule e espalhando com um pincel a fim de atingir uma camada homogênea (Figura 29a);
- III. Aplica-se imediatamente a primeira camada de agregado (Figura 29c);

Figura 29 - Aplicação do ligante (a); Pesagem do conjunto (b); espalhamento do agregado (c).



Fonte: O autor (2019).

- IV. Passa-se o rolo compactador quatro vezes (Figura 30a);
- V. Faz-se a segunda aplicação de ligante (Figura 30b);

Figura 30 - Compactação (a); Aplicação do ligante (b).



Fonte: O autor (2019).

- VI. Aplica-se imediatamente a segunda camada de agregado;

- VII. Passa-se o rolo compactador três vezes;
- VIII. Em alguns casos, aplica-se o banho diluído de água e emulsão na proporção 1:1 e aplica-se a capa selante de areia seguido de mais duas passagens do rolo (Figura 31);

Figura 31 - Aplicação do banho diluído (a); Espalhamento da areia (b).



Fonte: O autor (2019).

- IX. Remove-se o anel metálico e coloca-se a amostra em uma estufa por 24 horas a 60° C, a fim de acelerar a cura da emulsão;
- X. Retira-se a amostra da estufa e coloca-se a temperatura ambiente por 1 hora;
- XI. Pesa-se o revestimento para se obter o peso antes do desgaste (P1);
- XII. Faz-se o ensaio de mancha de areia;
- XIII. Coloca-se a amostra submersa por 10 minutos (Figura 32b);
- XIV. Remove-se a amostra e coloca-se na bandeja para ser submetida ao ensaio WTAT, ainda submersa em água;
- XV. Inicia-se o desgaste por abrasão úmida por 2,5 minutos a uma velocidade de 240 rpm (Figura 32c);
- XVI. Lava-se a amostra desgastada (Figura 32a) e logo após, coloca-se na estufa a 60° C por 2 horas até a constância de peso;
- XVII. Pesa-se a amostra seca para obter-se o peso após desgaste (P2). O desgaste é dado por:

$$D(\%) = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100 \quad (21)$$

Figura 32 - Lavagem da manta (a); Mantas submersas (b); Manta submetida ao desgaste (c).



Fonte: O autor (2019).

A emulsão asfáltica RR-2C foi aplicada a uma temperatura de 60° C pois segundo Loiola (2009) essa é a temperatura que proporciona a melhor viscosidade para o espalhamento.

#### 4.7. Ensaio de mancha de areia e análise da macrotextura

Para analisar-se a macrotextura do revestimento é feito através do ensaio da mancha de areia. O método do ensaio é descrito pela norma ASTM E 965 – 96 (2001) e consiste em colocar sobre o revestimento um volume determinado de areia fina e espalhá-la com movimentos circulares utilizando um disco com base de borracha, espalhando a areia de forma homogênea, formando um círculo (Figura 33). O espalhamento para quando começa a aparecer algumas pontas de agregados. A seguir é medido o diâmetro do círculo em quatro direções distintas. O diâmetro adotado é a média aritmética entre os quatro.

Segundo Silva (2007), o ensaio caracteriza o revestimento quanto à sua capacidade de drenar a água presa entre o pneu e a superfície, quantificando-se a distância média entre os grânulos individuais de agregados aflorados na superfície.

Para a realização do ensaio de mancha de areia utilizou-se 25.000mm<sup>3</sup> de areia uniforme, arredondada, passante na peneira de abertura 0,177mm e retida na peneira de abertura 0,25mm, nº 60 e 80, respectivamente.

A altura média de mancha de areia foi calculada por:

$$HS = \frac{4 \cdot V}{D^2 \cdot (3,14)} \quad (22)$$

Onde:

HS: Altura média de mancha de areia (mm);

V: Volume de areia (25.000mm<sup>3</sup>);

D: Diâmetro médio do círculo de areia (mm).

A classificação da macrotextura é apresentada no quadro 2:

Quadro 2 - Classificação da macrotextura a partir da altura média da mancha de areia.

Altura média de mancha de areia (mm)	Textura Superficial
$HS \leq 0,2$	Muito fina ou muito fechada
$0,2 < HS \leq 0,4$	Fina ou fechada
$0,4 < HS \leq 0,8$	Média
$0,8 < HS \leq 1,2$	Grosseira ou aberta
$HS > 1,2$	Muito grosseira ou aberta

Fonte: ABPv (1999) apud Loiola (2009).

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) a macrotextura deve estar no intervalo de 0,6 a 1,2mm, logo, de acordo com o Quadro 2, deve ser classificada como média ou grosseira ou aberta.

Figura 33 - Materiais utilizados (a); Espalhamento da areia (b); Medição do diâmetro (c).



Fonte: O autor (2019).



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos em todos os ensaios realizados de acordo com a seção anterior. Primeiramente serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização dos agregados, seguidos dos ensaios de caracterização do ligante. Posteriormente serão descritos os resultados das dosagens de materiais a serem utilizados. Por fim serão apresentados os resultados dos ensaios de desgaste e mancha de areia.

### 5.1. Ensaio de caracterização dos agregados

#### 5.1.1. Granulometria

A tabela 6 e o gráfico 1 mostram que a amostra de seixo 1 (M1) foi enquadrada na faixa A do TSD de acordo com a norma do DNIT – 147/2010 – ES, concluindo que a mesma pode ser utilizada na primeira camada de agregado, apesar de estar fora das faixas a amostra encontra-se dentro da faixa de tolerância estabelecida pela norma. De acordo com a tabela 7 e o gráfico 2 podemos concluir que a amostra de seixo 0 (M2) foi enquadrada na faixa B do TSD de acordo com a mesma norma, logo pode ser utilizada na segunda camada de agregado. A Figura 34 ilustra as diferentes granulometrias de agregados utilizados na pesquisa.

Figura 34 - Seixo 1 (a); Seixo 0 (b).



Fonte: O autor (2019).

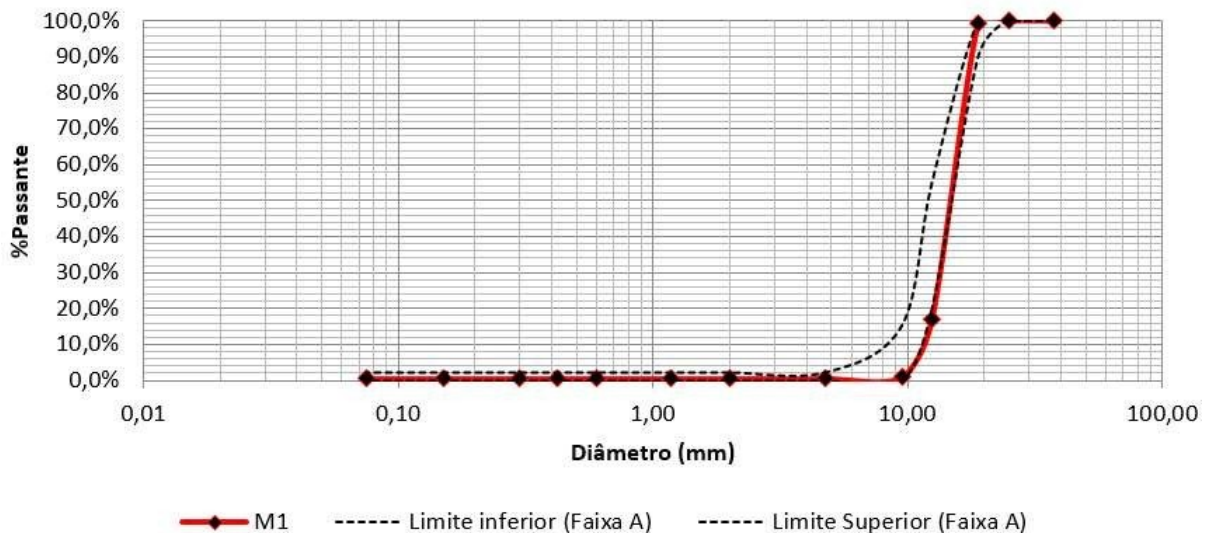
Vale ressaltar que devido a granulometria dos agregados, não foram utilizadas as peneiras referentes ao peneiramento fino, uma vez que as dimensões dos agregados se concentram entre 19,00mm e 4,75mm.

Tabela 6 - Granulometria do material M1

Peneiras	%passante, em peso	Tolerância das faixas de projeto		
			Malha	mm
1"	25,40	100,00%	-	±7
3/4"	19,00	99,27%	90-100	±7
1/2"	12,50	16,93%	20-55	±7
3/8"	9,50	0,92%	0-15	±7
#4	4,80	0,47%	0-5	±5
#10	2,00	0,47%	-	±5
#200	0,074	0,47%	0-2	±2

Fonte: O autor (2019).

Gráfico 1 - Curva granulométrica do material M1

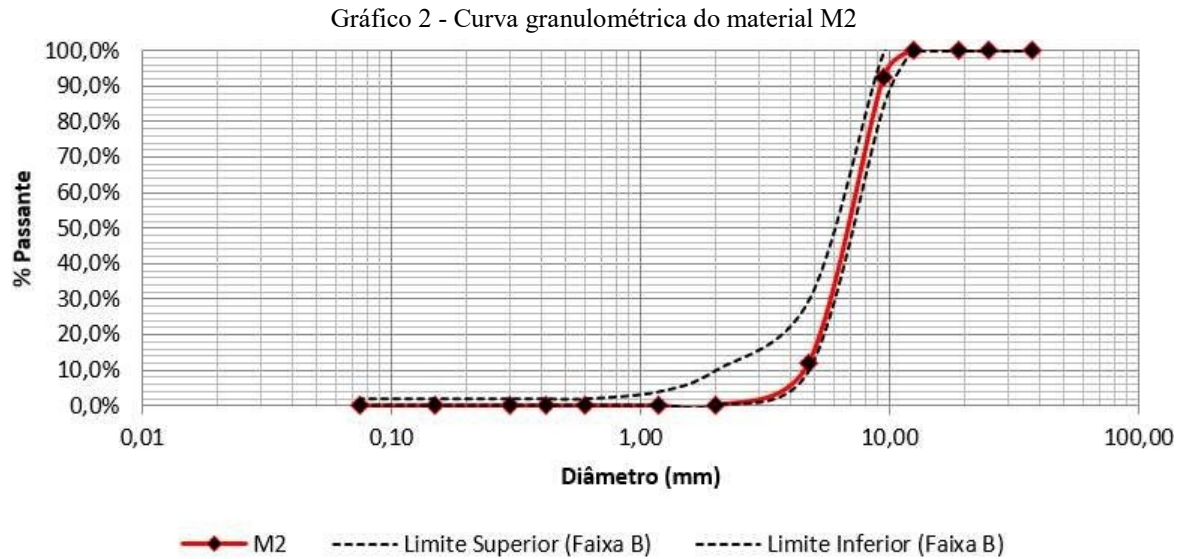


Fonte: O autor (2019).

Tabela 7 - Granulometria do material M2

Peneiras	%passante, em peso	Tolerância das faixas de projeto		
			Malha	mm
1"	25,40	100,00%	-	±7
3/4"	19,00	100,00%	-	±7
1/2"	12,50	100,00%	100	±7
3/8"	9,50	92,64%	85-100	±7
#4	4,80	12,14%	10-30	±5
#10	2,00	0,11%	0-10	±5
#200	0,074	0,11%	0-2	±2

Fonte: O autor (2019).

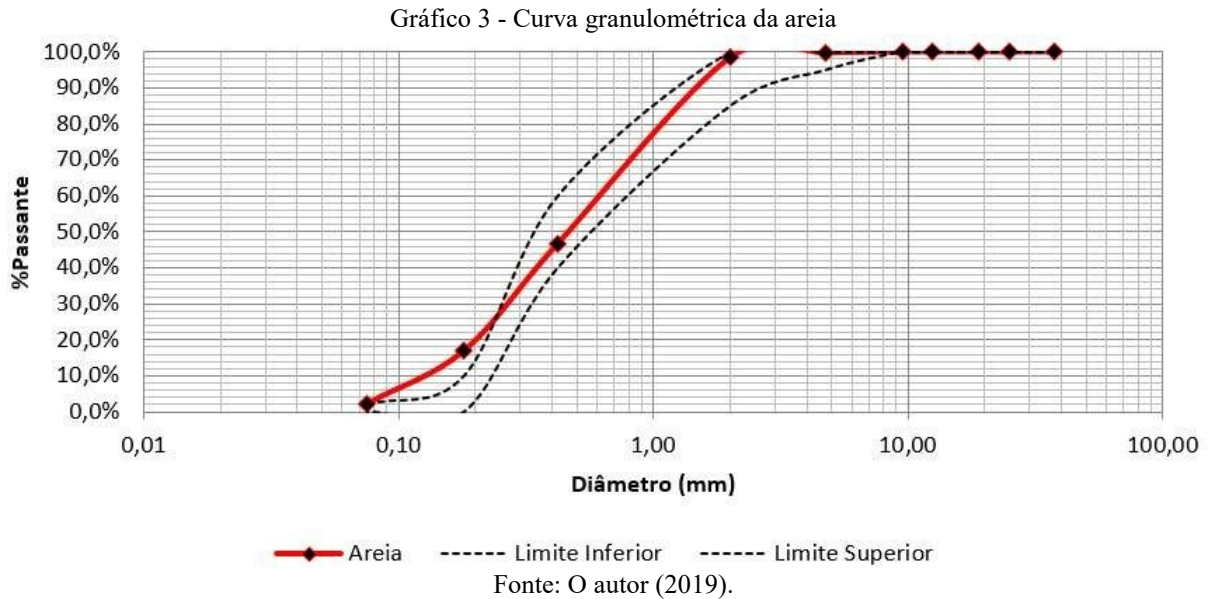


O gráfico 3 e a Tabela 8 ilustram o resultado obtido na granulometria da areia média utilizada na capa selante. Observa-se que que ao final da curva a mesma encontra-se fora da faixa estabelecida pela norma DER/PR ES P-19/05, porém a areia foi utilizada ainda assim pois era a única disponível no depósito de materiais do Laboratório de Solos e Pavimentação – LSP.

Tabela 8 - Granulometria da areia

Peneiras		%passante, em peso	
Malha	mm	Areia	Limites DER/ PR ES P-19/05
1/2"	12,5	100,0%	-
3/8"	9,5	100,00%	-
4"	4,8	99,71%	95-100
10	2	98,35%	85-100
40	0,42	46,70%	40-60
80	0,18	16,99%	0-10
200	0,075	2,30%	0-2

Fonte: O autor (2019).



### 5.1.2. Abrasão *Los Angeles*

Os agregados sofrem com o constante desgaste ao qual estão submetidos desde a compactação feita na execução do serviço e principalmente quando submetido à ação do tráfego, então, é importante que os resistam durante a vida útil do pavimento. O seixo 1 (M1) e o seixo 0 (M2) foram submetidos ao ensaio, com aproximadamente 5.000g de material e realizadas 500 rotações com o tambor, a carga abrasiva foi de aproximadamente 4.584g e 3.330g para as graduações B e C, respectivamente. Como pode-se observar na Tabela 9, o material M1 é adequado para o uso no TSD, ficando abaixo do valor de 40% estabelecido pela norma DNIT – 147/2010 – ES. O material M2, apesar de estar 0,1% acima do limite, foi considerado satisfatório, uma vez que o desgaste é igual 40%, quando não considerado casas decimais.

Tabela 9 - Resultado Abrasão *Los Angeles*

Material	Graduação	Carga Abrasiva	Nº de Esferas	Massa Inicial	Massa Passante na 1,7mm	Desgaste	Limite estabelecido (DNIT – 147/2010 – ES)
M1	B	4.584,0	11	4.998,7	3.095,6	38,07%	≤ 40%
M2	C	3.330,0	8	4.996,6	2.992,9	40,10%	

Fonte: O autor (2019).



### 5.1.3. Adesividade

O agregado utilizado apresentou adesividade satisfatória uma vez que não apresentou deslocamento de película betuminosa ao final das 72 horas (Figura 35). Um fato relatado por Pereira (2013) também foi observado no presente trabalho. A norma diz que deve-se misturar o agregado a 17,5g de ligante betuminoso, no entanto, verificou-se que essa quantidade é insuficiente para recobrir toda a amostra do agregado com emulsão asfáltica, e por isso acrescentou-se mais 1,5g, totalizando 19g.

Figura 35 - Adesividade após 72 horas



Fonte: O autor (2019).

### 5.1.4. Índice de forma

O ensaio de índice de forma foi realizado para as duas graduações e em ambos os casos foi considerada satisfatório, uma vez que as normas DNIT – 147/2010 – ES e DER-ES-P 11/00 estabelecem que o índice de forma do agregado a ser utilizado no TSD não deve ser inferior a 0,5. A Tabela 10 nos traz as médias das dimensões a, b e c do agregado, bem como as relações B/A e C/B além da classificação final.

Tabela 10 - Índice de forma dos agregados

Material	a médio	b médio	c médio	b/a	c/b	Classificação	Limite estabelecido (DNIT – 147/2010 – ES)
<b>M1</b>	14,09	10,76	7,90	0,76	0,73	Cúbica	<b>&gt;0,5</b>
<b>M2</b>	21,69	15,93	11,53	0,73	0,72	Cúbica	

Fonte: O autor (2019).

### 5.1.5. Equivalente de areia

O resultado obtido pelo método de ensaio está acima do limite mínimo especificado pela norma DER/PR ES-P 19/05, que estabelece o valor mínimo de 60% para uso em capa selante. A Tabela 11 traz os resultados obtidos no ensaio realizado de acordo com a norma DNER – ME 054/97.

Tabela 11 - Resultado Equivalente de Areia

Frasco	Leituras		Equivalente de areia	Média	Limite (DER/PR ES-P 19/05)
	h1	h2			
1	13,4	10,1	75,37%	75,47%	≥ 60%
2	13,1	9,9	75,57%		

Fonte: O autor (2019).

### 5.1.6. Durabilidade

Não foi possível a realização do ensaio de durabilidade pois o reagente químico ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) encontrado no Laboratório de Solos e Pavimentação – LSP encontrava-se vencido, bem como o encontrado no Laboratório de Química. A aquisição desse tipo de reagente é difícil pois os fornecedores não o vendem facilmente, apenas para compradores previamente cadastrados.

## 5.2. Ensaio de caracterização do ligante

### 5.2.1. Peneiramento

O resultado obtido através do ensaio de peneiramento ficou dentro dos padrões estabelecidos pela norma DNIT 165/2013, uma vez que a variação em peso da emulsão asfáltica foi menor que 0,1%, no caso 0,06%, ou seja, uma variação quase desprezível. A massa inicial foi de 1.000g de emulsão.

### 5.2.2. Carga de partícula

Como exposto no capítulo anterior, este ensaio foi realizado no Laboratório de Física da UEMA. A amostra foi submetida a uma corrente inicial de 9,42 Ampères e após 5 minutos a corrente atingiu um valor menor que 2,00 Ampères e então o ensaio foi interrompido. O resultado obtido foi o esperado, tendo a conclusão de que a emulsão utilizada no presente trabalho, RR 2-C, se trata de uma emulsão catiônica. A figura 36 mostra o depósito de partículas no eletrodo.

Figura 36 - Depósito de emulsão



Fonte: O autor (2019).

### 5.2.3. Viscosidade Saybolt-Furol

Devido a problemas com o viscosímetro Saybolt-Furol não foi possível a realização deste ensaio. Inicialmente o mesmo estava com vazamento de óleo, e depois apresentou problemas para manter a temperatura desejada.

### 5.2.4. Resíduo por Evaporação

O resultado obtido do ensaio de resíduo por evaporação encontrado foi próximo ao resultado esperado. Esperava-se que a amostra tivesse 67% do seu peso em CAP, e o encontrado foi 66,6%. Uma amostra inicial de 50g ficou ao final do ensaio com 33,3g. Logo a emulsão obedece às especificações de acordo com a norma DNIT 165/2013 – EM.

### 5.2.5. Desemulsibilidade

Não foi possível a realização do ensaio de desemulsibilidade pois o reagente químico (aerossol OT a 0,8% + dioctil sulfosuccinato de sódio) não se encontrava no LSP e como já foi exposto, a aquisição desse tipo de reagente é difícil pois os fornecedores não o vedem facilmente, apenas para compradores previamente cadastrados.

### 5.2.6. Sedimentação

Não foi possível a realização do ensaio de sedimentação pois a proveja com duas saídas encontrava-se incompleta, além de não haver quantidade suficiente de emulsão para a realização do mesmo.

## 5.3. Dosagem de materiais

### 5.3.1. Dosagem do agregado

Para a determinação da taxa de agregado utilizada foi adotado o método de dosagem do DERT-CE (2000) junto ao método da bandeja, ambos expostos anteriormente. Vale ressaltar que ao resultado obtido pelo método da bandeja, foi acrescido 5% à taxa efetiva de agregado, como especifica a norma DERT-ES-P 11/2000, determinando assim a taxa de agregado a espalhar. A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para as taxas de agregados.

Tabela 12 - Taxa de agregados

Camada	Taxa de Agregado (Kg/m <sup>2</sup> )		Massa específica solta (Kg/L)	Taxa de Agregado Adotada	
	Fórmula	Bandeja		Kg/m <sup>2</sup>	L/m <sup>2</sup>
1 <sup>a</sup>	14,64	16,80	1,64	17,00	10,37
2 <sup>a</sup>	7,83	10,10	1,63	10,00	6,13
CS	-	-	-	3,00	-

Fonte: O autor (2019).

### 5.3.2. Dosagem do ligante

A taxa de ligante foi determinada conhecendo a taxa de agregado total em L/m<sup>2</sup> utilizando a fórmula 19. A Tabela 13 traz os valores utilizados nas camadas do TSD.

Tabela 13 - Taxas de Ligante

Aplicação	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	Banho Diluído (1:1)
Taxa de Ligante (L/m <sup>2</sup> )	0,75	1,10	1,00

Fonte: O autor (2019).

### 5.4. Ensaio de desgaste WTAT

Diferente dos estudos de outros autores onde varia-se a taxa de ligante, no presente trabalho o autor optou por fixar as taxas de aplicação do ligante e do agregado, com o objetivo de se obter uma tendência entre os valores encontrados, facilitando a determinação da viabilidade do seixo rolado em relação aos materiais tradicionalmente utilizados.

Observando-se a Tabela 14 nota-se que o desgaste encontrado nas amostras de Tratamento Superficial Duplo sem capa selante apresentou uma variação pequena entre as amostras. Sendo o maior deles encontrado na manta M9 de 14,95% e o menor na manta M7 de 9%. Uma diferença de apenas 5,95%. Para efeitos de comparação, será utilizado o valor obtido da média, de 12,31%.

Tabela 14 – Desgaste WTAT do TSD sem capa selante

Manta	Taxas de Aplicação				Desgaste (%)
	Taxa de Ligante (l/m <sup>2</sup> )		Taxa de agregado (Kg/m <sup>2</sup> )		
	1 <sup>a</sup> aplicação	2 <sup>a</sup> aplicação	1 <sup>a</sup> camada	2 <sup>a</sup> camada	
M1	0,75	1,10	17,00	10,00	13,36%
M2	0,75	1,10	17,00	10,00	13,88%
M3	0,75	1,10	17,00	10,00	12,51%
M4	0,75	1,10	17,00	10,00	12,78%
M5	0,75	1,10	17,00	10,00	10,39%
M6	0,75	1,10	17,00	10,00	10,85%
M7	0,75	1,10	17,00	10,00	9,00%
M8	0,75	1,10	17,00	10,00	13,02%
M9	0,75	1,10	17,00	10,00	14,95%
			<b>Média</b>		<b>12,31%</b>

Fonte: O autor (2019).

A Tabela 15 corresponde aos resultados obtidos no ensaio de desgaste para o Tratamento Superficial Duplo com capa selante (TSD+CS). Como já foi exposto, o TSD +CS pode ser considerado um Tratamento Superficial Triplo (TST). Mesmo fixando-se os valores das taxas de aplicação dos agregados e do ligante, houve uma maior variação entres os valores do desgaste para as 9 amostras. Sendo o maior deles encontrado na manta M9 de 10,03% e o menor na manta M3 de 0,03%. Uma diferença de 10%. Porém vale ressaltar que a variação ficou em um intervalo menor que os encontrados para TSD sem capa selante. Para efeitos de comparação, será utilizado o valor obtido da média, de 3,93%.

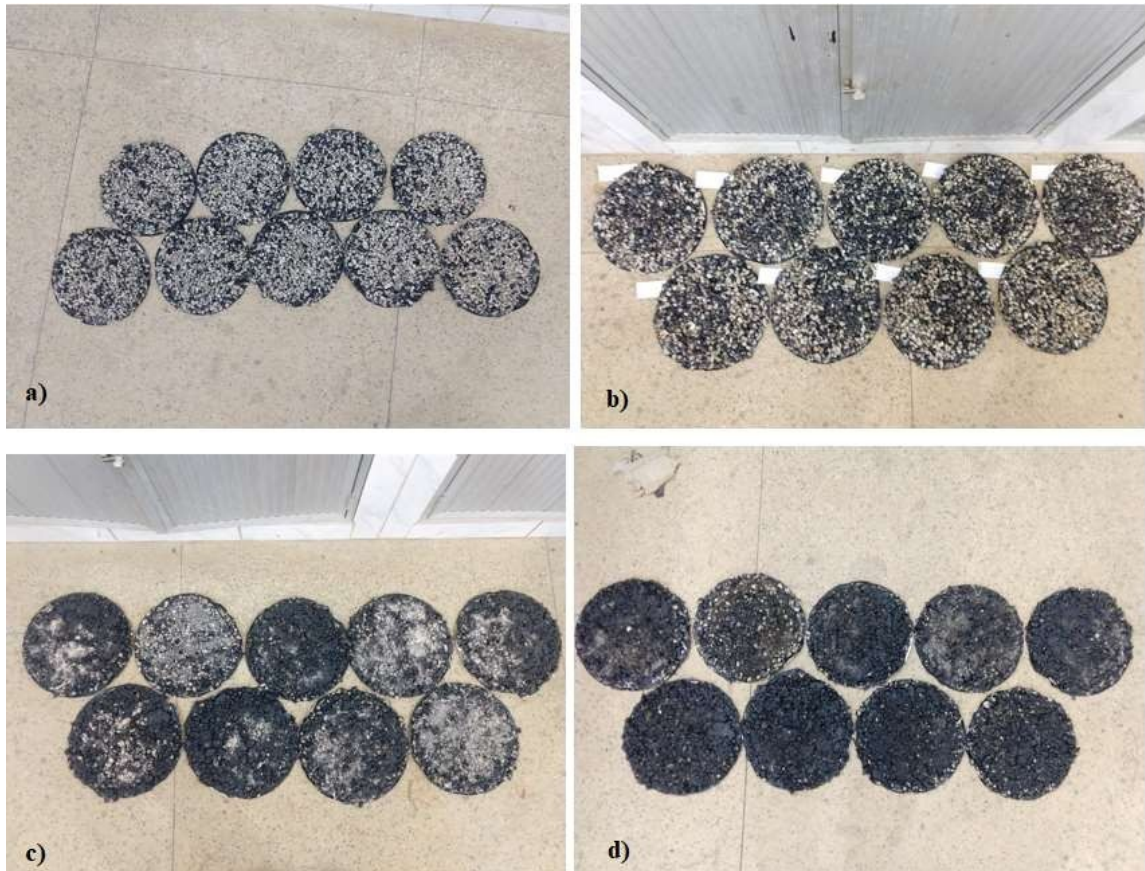
Tabela 15 - Desgaste do TSD com capa selante

Manta	Taxas de Aplicação						Desgaste (%)
	Taxa de Ligante (ℓ/m <sup>2</sup> )			Taxa de agregado (Kg/m <sup>2</sup> )			
	1 <sup>a</sup> aplicação	2 <sup>a</sup> aplicação	Banho diluído	1 <sup>a</sup> camada	2 <sup>a</sup> camada	CS	
<b>M1</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	3,14%
<b>M2</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	4,26%
<b>M3</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	0,03%
<b>M4</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	3,44%
<b>M5</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	3,34%
<b>M6</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	5,83%
<b>M7</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	2,79%
<b>M8</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	2,49%
<b>M9</b>	0,75	1,10	1,00	17,00	10,00	3,00	10,03%
						<b>Média</b>	<b>3,93%</b>

Fonte: O autor (2019).

Pode-se dizer que o resultado obtido ficou próximo do esperado, uma vez que ao se aplicar uma camada a mais de agregado com partículas menores, diminuindo a quantidade de vazios presente no revestimento, era esperado que houvesse uma melhor adesão entre os materiais no TSD com capa selante em relação ao TSD sem capa selante. Lembrando que para os dois tipos de TSD foram utilizadas as mesmas taxas de ligantes e agregados, com o intuito de descobrir o real motivo de uma melhora ou piora no desgaste, pois ao variar-se essas taxas, não se sabe ao certo o que causa diferença nos resultados. A figura 37 traz as amostras antes e depois do desgaste.

Figura 37 - Amostras de TSD antes do desgaste (a) e após o desgaste (b); Amostras do TSD+CS antes do desgaste (c) e após o desgaste (d)

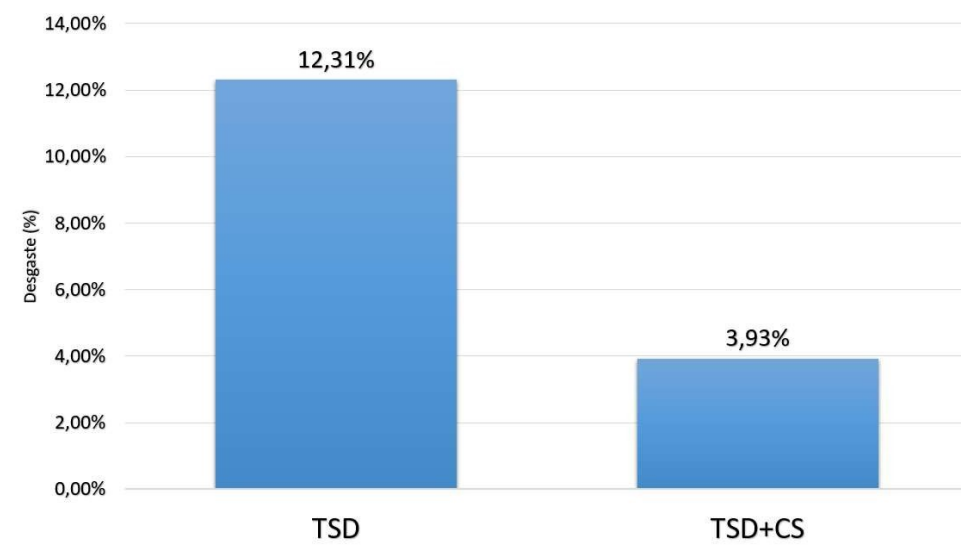


Fonte: O autor (2019).

O Gráfico 4 ilustra de forma clara a grande melhoria alcançada no presente estudo ao aplicar-se a capa selante de areia sobre o TSD com seixo rolado.

Gráfico 4 - Comparativo entre TSD e TSD+CS

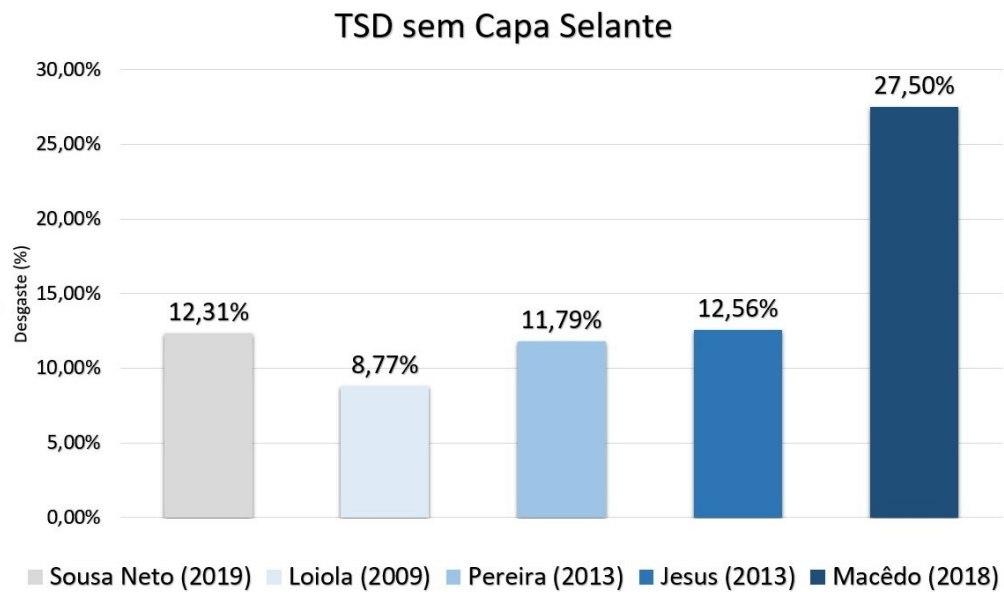
#### Ensaio WTAT



Fonte: O autor (2019).

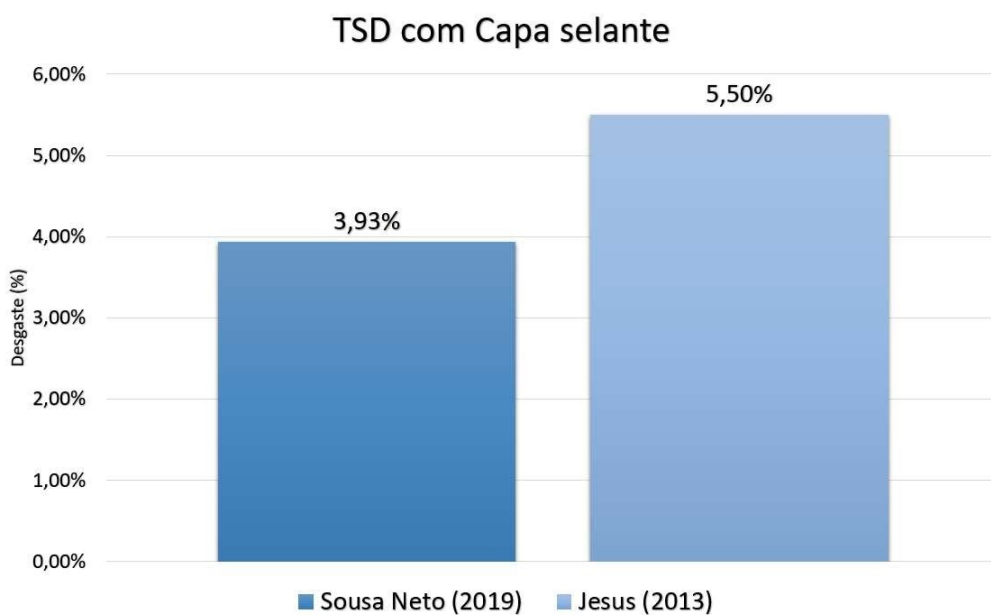
O Gráfico 5 compara os resultados obtidos no ensaio de desgaste WTAT para o TSD sem capa selante com os resultados obtidos em outros trabalhos, já o Gráfico 6 compara os resultados obtidos no presente estudo em comparação com Jesus (2013), que também realizou o TSD com capa selante de areia.

Gráfico 5 - Comparativo do desgaste do TSD com outros trabalhos



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 6 - Comparativo do desgaste do TSD+CS com outros trabalhos



Fonte: O autor (2019).



### 5.5. Ensaio da Mancha de areia

Analisando os resultados apresentados na Tabela 16, pode-se concluir que ambos os tipos de revestimento apresentam classificação muito grosseira ou aberta, estando fora da faixa indicada pelo DNIT (2006), que recomenda o intervalo entre 0,6 e 1,2mm. Observa-se que após o desgaste houve uma ligeira redução da altura da mancha, que foi causada pelo descolamento dos agregados na superfície de contato. Conclui-se ainda que o revestimento é extremamente drenante, capaz de dispersar rapidamente a água presa entre o pneu e a superfície.

Diante da classificação do DNIT (2006) podemos dizer que o revestimento não está nas condições ideais quanto a sua textura, pois apresentou-se como extremamente grosseira, o que causa um ruído desconfortável ao condutor e um desgaste maior dos pneus na frenagem e na aceleração.

É importante dizer que o fato de as mantas terem sido moldadas em laboratório contribui diretamente para que o resultado seja uma classificação muito grosseira, uma vez que as mesmas foram moldadas em uma escala reduzida e com equipamentos menos robustos.

Tabela 16 - Resultados obtidos no ensaio da mancha de areia

	TSD		TSD + CS		Limite Recomendado (DNIT, 2006)	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Mínimo	Máximo
<b>Diâmetro médio (mm)</b>	75,60	85,60	91,20	93,10	230,39	162,91
<b>Altura Média (mm)</b>	5,57	4,35	3,83	3,67	0,60	1,20
<b>Classificação</b>	Muito Grosseira Aberta	Muito Grosseira Aberta	Muito Grosseira Aberta	Muito Grosseira Aberta	Média	Grosseira Aberta

Fonte: O autor (2019).

### 5.6. Resumo dos resultados

O quadro 3 expõe de forma resumida um comparativo entre os resultados obtidos na presente pesquisa com outros autores. Vale ressaltar que apesar de Macêdo (2018) ter utilizado seixo rolado, o mesmo utilizou emulsão RR-1C, bem como Jesus (2013) que utilizou a brita convencional como agregados. Já Loiola (2009) e Pereira (2013) utilizaram a emulsão RR-2C, porém com agregado siderúrgico e agregado mineral, para comparação com a presente pesquisa, utilizou-se apenas os resultados obtidos para TSD com agregado mineral.

Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos

Ensaio realizado	Norma		Valores obtidos nesse estudo	Resultados obtidos por outros autores			
	Nº da Norma	Limites		Loiola (2009)	Pereira (2013)	Jesus (2013)	Macêdo (2018)
<b>Granulometria</b>	DNER – ME 083/98	Tabela 4	Dentro das faixas	Dentro das faixas	Dentro das faixas	Dentro das faixas	Dentro das faixas
<b>Abrasão Los Angeles</b>	DNER – ME 035/98	≤ 40%	38,07% / 40,11%	22,8% / 42,18%	27,7% / 36,59%	21,3% / 39,1%	37,3% / 40%
<b>Adesividade</b>	DNER-ME 078/94	-	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
<b>Índice de Forma</b>	ABNT NBR 6954/89	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica
<b>Equivalente de areia</b>	DNER – ME 054/97	≥ 60%	75,47%	-	-	61%	-
<b>Durabilidade</b>	DNER – ME 089/94	≤ 12%	Não realizado	8,10%	7,40%	5,90%	-
<b>Peneiramento</b>	ABNT NBR 14393/99	≤ 0,1%	0,06%	0,001	-	0	0
<b>Carga de Partícula</b>	DNIT 156/11 – ME	Positiva	Positiva	Positiva	-	Positiva	Positiva
<b>Viscosidade Saybolt-Furol</b>	ABNT NBR 14491/2000	100-400	Não realizado	304	-	-	-
<b>Desemulsibilidade</b>	ABNT NBR 6569/2015	≥ 50%	Não realizado	50,37	-	59,3	59,3
<b>Sedimentação</b>	ABNT NBR 6570/2000	≥ 5%	Não realizado	0,05%	-	-	-
<b>Resíduo por evaporação</b>	DAER/RS EL 210/01	67%	66,60%	67%	-	62	62
<b>WTAT</b>	ABNT NBR 14746						
<b>TSD</b>			12,31%	8,77%	11,79%	12,56%	27,50%
<b>TSD+CS</b>			3,93%			5,50%	
<b>Mancha de areia</b>	ASTM – E – 965 – 96 (1998)	0,6 - 1,2mm					
<b>TSD</b>			5,57	4,07			
<b>TSD+CS</b>			3,83				
<b>Materiais Utilizados</b>			RR-2C	RR-2C	RR-2C	RR-1C	RR-1C
			Seixo Rolado	Brita	Brita	Brita	Seixo Rolado

Fonte: O autor (2019).

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1. Conclusões

Os resultados dos estudos efetuados para o Tratamento Superficial Duplo utilizando seixo rolado e emulsão RR-2C foram considerados satisfatórios. Ao se comparar o TSD com e sem a capa selante observa-se uma melhora significativa, principalmente no desgaste WTAT, isso ocorre porque a capa selante envolve a última camada do revestimento, criando uma camada a mais prendendo as partículas da segunda camada. Ainda que algumas amostras tenham saído do padrão, no geral o desgaste foi reduzido a aproximadamente um quarto, portanto o TSD com capa selante apresenta-se como um revestimento bem mais resistente à abrasão.

Ao se comparar com os resultados de outros autores como Penha (2013), Loiola (2009) e Pereira (2010) o seixo rolado apresentou um desgaste relativamente próximo ao encontrado pelos autores utilizando a brita convencional no TSD sem a capa selante. Pode-se concluir que o seixo pode ser utilizado no lugar da brita convencional quando esta apresenta indisponibilidade ou elevado custo.

Ainda em relação ao trabalho de Penha (2013), ao comparar-se os resultados obtidos nos ensaios de TSD com capa selante de areia, observa-se que o seixo rolado teve um comportamento melhor que a brita. Mas vale ressaltar que Penha (2013) utilizou na confecção das mantas a emulsão RR-1C, enquanto o autor utilizou RR-2C, que é a estabelecida por norma. Isso pode ter influenciado diretamente no resultado final, uma vez que há uma maior quantidade de CAP na emulsão RR-2C.

A utilização da emulsão RR-2C pode ser considerada responsável pela grande melhora obtida no desgaste do TSD sem capa selante, uma vez que os resultados obtidos por Macêdo (2018), que utilizou a emulsão RR-1C, foram aproximadamente o dobro do presente trabalho e, como já mencionado anteriormente, o teor de CAP na emulsão RR-2C é maior.

Quanto à macrotextura do revestimento o TSD apresentou-se fora do intervalo estabelecido pelo DNIT (2006), tendo o TSD com capa selante apresentado uma pequena melhora em relação ao TSD, mais ainda assim, fora do intervalo. O constatado pode ser explicado pelo fato de que ambos os materiais possuem granulometrias uniformes, deixando vazios entre eles, resultando em uma textura elevada. Em relação aos resultados obtidos na altura média da Mancha de Areia, embora elevada, está próximo dos valores obtidos por Loiola (2009).

O método de dosagem do DERT/CE (2000), utilizado nesse estudo, atendeu plenamente às expectativas, pois, junto com o método da bandeja, obteve-se de forma clara, simples e prática as taxas de aplicação dos materiais, sem que houvesse um excesso, que poderiam causar um desgaste maior, pois o ligante poderia não ser capaz de aglutinar todas as partículas.

O agregado, seixo rolado, apresentou comportamento satisfatório em todos os ensaios realizados no mesmo. Principalmente na adesão entre o agregado e o ligante, logo, apresenta condições de ser substituto da brita convencional em Tratamentos Superficiais Duplos sempre que for economicamente viável, principalmente em rodovias com baixo volume de tráfego. Entende-se ainda que se for necessário resistir a um tráfego maior, pode-se optar por executar uma capa selante de areia.

## **6.2. Sugestões**

- Utilização de emulsão modificada por polímeros, substituindo a emulsão RR-2C;
- Análise do desgaste com o auxílio de um simulador de tráfego;
- Comparativo da influência entre a emulsão RR-2C e a RR-1C no TSD;
- Análise completa da microtextura do revestimento utilizando outro equipamento, tal como o pêndulo britânico.

## REFERÊNCIAS

ABEDA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.

*AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. ASTM E 965 – 96: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*, 2001.

*ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION - AEMA. Basics of Asphalt Emulsions. Site da AEMA*, 2019. Disponível em: <<https://www.aema.org/page/basicsofasphaltemuls>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6954/89**: Determinação da forma do material. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6502/95**: Rochas e Solos - Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14393/99**: Emulsões Asfálticas - Determinação da Peneiração. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14491/00**: Emulsões Asfálticas - Determinação da Viscosidade Saybolt-Furol. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6570/00**: Ligantes asfálticos - Determinação da sedimentação e estabilidade à estocagem de emulsões asfálticas. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6568/05**: Emulsões asfálticas - Determinação do resíduo de destilação. Rio de Janeiro, 2005.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14746/14:** Microrrevestimento a frio e lama asfáltica – determinação de perda por abrasão úmida (WTAT). Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO - ABPV. Informativo Técnico sobre Avaliação da Resistência à Derrapagem Através de Aparelhagem Portátil. **Boletim Técnico nº 18**, 1999.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica:** Materiais, Projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica:** Formação Básica para Engenheiros. 3<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás - ABEDA, 2010.
- BUZATTI, D. J. **Dosagem de Tratamentos Superficiais:** Pavimentação Rodoviária. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada - IEA, 1994.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. 22<sup>a</sup> Pesquisa CNT de Rodovias 2018, 2018. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Home>>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DAER/RS. **DAER/RS-EL 210/01:** Determinação do resíduo por evaporação para emulsões asfálticas. Porto Alegre, 2001.
- DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES, RODOVIAS E TRANSPORTES – DERT-CE. **DERT-ES-P 11/00:** Tratamento Superficial Duplo. Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Fortaleza, 2000.
- DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES, RODOVIAS E TRANSPORTES – DERT-CE. **ES-P 10/00:** Tratamento Superficial Simples. Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Fortaleza, 2000.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ - DER-PR. **DER/PR ES-P 19/05:** Pavimentação: Capa Selante. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 078/94:** Agregado Graúdo - Adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 086/94:** Agregados - Determinação do Índice de Forma. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 089/94:** Agregados - Avaliação da Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 054/97:** Equivalente de Areia. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 035/98:** Agregados: Determinação da abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 083/98:** Agregados - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Pavimentação.** 3ª. ed. Rio de Janeiro: Publicação IPR – 719, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.** Rio de Janeiro: Publicação IPR - 720, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT - 156/11- ME:** Emulsão asfáltica – Determinação da carga da partícula - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT.  
**DNIT - 146/2012 ES:** Pavimentação Asfáltica - Tratamento Superficial Simples - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT.  
**DNIT - 147/2012 ES:** Pavimentação Asfáltica - Tratamento Superficial Duplo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT.  
**DNIT - 148/2012 ES:** Pavimentação Asfáltica - Tratamento Superficial Triplo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT.  
**DNIT 165/13 – EM:** Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de Material. Rio de Janeiro, 2013.

DICKINSON, E. J. *The Hardening of Middle East Petroleum Asphalts in Pavement Surfacing*. *Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 1980.

FORTES, F. Q. **Pavimentos de Baixo Custo: Considerações sobre seus defeitos e Propostas de conservação e recuperação**. 1994. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos. 1994.

GONTIJO, P. R. A.; SANTANA, H. Tratamentos Superficiais Betuminosos. **20ª Reunião Anual de Pavimentação**, Fortaleza, Novembro 1985.

GOVERNO DO MARANHÃO. Governo inicia pavimentação histórica da MA-012, entre Barra do Corda e São Raimundo Doca Bezerra. **Site do Governo do Estado do Maranhão**, 2017. Disponível em: <<https://www.ma.gov.br/governo-inicia-pavimentacao-historica-da-ma-012-entre-barra-do-corda-e-sao-raimundo-doca-bezerra/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

JESUS, A. P. D. **Experiências Laboratoriais com Utilização de Tratamento Superficial Duplo no estado do Maranhão**. 2013. 46f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão. São Luís. 2013.



LARSEN, J. **Tratamento Superficial na Conservação e Construção de Rodovias**. Rio de Janeiro: ABEDA, 1985.

LOIOLA, P. R. R. **Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em Tratamentos Superficiais de rodovias**. 2009. 206f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2009.

MACÊDO, L. F. C. **Avaliação dos tratamentos superficiais simples e duplo de rodovias utilizando seixo rolado como agregado graúdo**. 2018. 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Unidade de Ensino Superior Dom Bosco. São Luís. 2018.

MELO, A. L. **Tratamentos Superficiais**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 1978.

MELO, A. L.; SANTANA, H. **Tratamentos Superficiais**. 11ª Reunião Anual. Campinas: Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv. 1970.

PEREIRA, S. L. O. **Avaliação de de Tratamentos Superficiais de Rodovias através de Análise de Laboratório**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010.

PEREIRA, S. L. O. **Avaliação De Tratamento Superficial Simples, Duplo E Triplo De Rodovias Através Do Emprego De Diferentes Agregados Da Região Metropolitana De Fortaleza**. 2013. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2013.

PINTO, S. **Tratamento Superficial Betuminoso**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia - IME, 2002.

PREGO, A. S. S. **A Memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, 2001.

PRESS, F. et al. **Para Entender a Terra**. Tradução de Rualdo Menegal et al. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

SANTANA, H. **Introdução à Mecânica dos Pavimentos de Baixo Custo**. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Teresina: ABPv. 1993. p. 488-522.

SANT'ANNA, W. C. **Contribuição ao Estudo de Solo-Emulsão em Pavimentos de Vias de Baixo Volume de Tráfego para o Estado do Maranhão**. 2009. 341f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

SILVA, J. P. S. **Aderência pneu-pavimento aeroportuário: Conceitos e Generalidades**. Congresso de Infra-Estrutura de Transportes. São Paulo: CONINFRA. 2007. p. 01-53A.

VOGT, J. C. **Novo Método de Dosagem dos Tratamentos Superficiais Betuminosos por Computação**. XVIª Reunião Anual da ABPv. [S.l.]: ABPv. 1975.