



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

**Análise das Metodologias Empregadas nas Obras de Manutenção da  
Estrada N260: Técnicas de Revestimento e Desempenho**

Hilário Costa Joaquim

**Supervisor:**

Eng. Hans de Vasconcelos B. Dete

**Maputo, Dezembro de 2024**

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL**

**Análise das Metodologias Empregadas nas Obras de Manutenção da  
Estrada N260: Técnicas de Revestimento e Desempenho**

Hilário Costa Joaquim

Relatório do estágio profissional apresentado no departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de licenciatura.

**Supervisor:**

Eng. Hans de Vasconcelos B. Dete

**Maputo, Dezembro de 2024**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante Hilário Costa Joaquim entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/2024 as \_\_\_  
cópias do relatório do seu trabalho de Licenciatura com a Referência: \_\_\_\_\_

Intitulado: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2024

A Chefe de Secretaria

\_\_\_\_\_

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha mãe, Páscoa Costa Bepete, que me deu à luz e por ter me apoiado incondicionalmente desde a minha nascença até esta etapa da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela preciosa vida que me deu e por ter cuidado de mim física e espiritualmente durante todo o percurso da minha vida. A agradecer a ele pelo conhecimento que tem me proporcionado desde o nível pré-escolar até esta fase académica que me encontro.

Os meus agradecimentos vão também para minha mãe pelo sustento e por ter suprido todas minhas necessidades como estudante durante todo o percurso da vida estudantil.

Aos meus familiares, amigos e colegas que directa ou indirectamente contribuíram para minha formação académica, em especial aos meus irmãos Manuel Costa Joaquim, José Manuel Jone e Sérgio Francisco Vunguira, aos meus colegas e amigos que contribuíram bastante na minha formação académica Leonildo Jacinto Evaristo, Emerson Henriques Munguambe e Málik Boane.

A universidade Eduardo Mondlane concretamente a faculdade de engenharia, aos docentes e funcionários que de forma directa ou indirecta contribuíram para a minha formação académica.

Ao meu supervisor Eng. Hans de Vasconcelos Brígido Dete que me ajudou com a elaboração deste trabalho.

A ANE, IP-Delegação provincial de Manica pela oportunidade do estágio e pela recepção. Aos técnicos Abdala Assiquine e Pedro Patrício pelos conhecimentos que me proporcionaram na área do laboratório, ao eng. Agapito por me ajudar com informações que precisava.

## **RESUMO**

As estradas são infra-estruturas muito importantes no desenvolvimento de um país, são um dos pilares fundamentais de um país. Dada a tal importância, é preciso que elas sejam bem dimensionadas e que se garanta a manutenção periódica para que não ocorram problemas estruturais e/ou funcionais dentro da vida útil do pavimento. Já é sabido que as estradas possuem um tempo de vida útil reduzido em relação às outras infra-estruturas da engenharia civil, como edifícios e pontes.

Os pavimentos rodoviários são infra-estruturas que mais cedo ou mais tarde vão sofrer deteriorações ao longo do tempo que vão necessitar dos trabalhos de manutenção, que em muitas vezes não é preciso que se espere a deterioração do pavimento. Visto que é preciso fazer as manutenções periódicas como a limpeza das valas, dos dispositivos de drenagem, limpeza das vias para evitar o acúmulo de água que poderá causar danos no pavimento.

O presente trabalho aborda sobre as técnicas de manutenção, que antes de mais nada são antecedidas pela identificação das patologias do pavimento. Além da manutenção periódica, nesse caso, o tapamento de buracos, aborda também a restauração do pavimento especificamente na execução da camada de revestimento.

Ainda o presente trabalho, aborda sobre ensaios laboratoriais de caracterização física e mecânica dos materiais utilizados na obra e a confrontação dos seus resultados com as especificações técnicas da norma sul-africana SATCC.

O presente trabalho é um relatório de estágio profissional realizado na ANE, IP-delegação de Manica, no departamento técnico na área do laboratório de solos, onde acompanhou-se diferentes tipos de ensaios laboratoriais dos solos e dos agregados. Acompanhou-se também, a execução das camadas de revestimento e tapamento dos buracos da estrada N260.

**Palavras chave:** Manutenção periódica, deteriorações, restauração do pavimento, revestimento e ensaios laboratoriais.

## INDICE

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS .....	ii
RESUMO.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa do tema e contextualização .....	1
1.2 Objectivos: .....	1
1.2.1 Gerais.....	1
1.2.2 Específicos .....	2
1.3 Metodologias.....	2
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 Pavimento .....	3
2.1.1 Constituição de um pavimento.....	3
2.1.2 Funções do pavimento .....	3
2.1.3 Classificação do pavimento .....	3
2.1.4 Caracterização das camadas de um pavimento flexível.....	5
2.1.5 Tipos de revestimento em pavimentos flexíveis .....	6
2.1.6 Execução do revestimento com revestimento superficial duplo .....	13
2.1.7 Manutenção do pavimento .....	19
2.1.8 Patologias dos pavimentos.....	21
2.1.9 Técnicas de manutenção.....	28
2.1.10 Planeamento da manutenção do pavimento.....	32
2.1.11 Desempenho do pavimento .....	32
2.2 Ensaios e Controlo de qualidade .....	35
2.2.1. Preparação e aplicação do plano de controlo de qualidade.....	36
2.3 Ensaios laboratoriais.....	36
2.3.1 Ensaio de granulometria.....	37
2.3.2 Limites de Atterberg.....	38
2.3.3 Ensaio de compactação .....	40
2.3.4 Ensaio do índice de suporte de Califórnia (CBR) .....	41
2.3.5 Avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos (10% Fact) 43	
2.3.6 Índice de lamelação.....	44

2.4	Classificação dos solos .....	45
2.4.1	Sistema de classificação da AASHTO .....	45
2.4.2	Sistema unificado de classificação de solos .....	47
3	APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DO ESTÁGIO .....	50
3.1	Administração nacional de estradas-ANE .....	50
3.1.1	Atribuições e competências .....	50
3.1.3	Missão .....	50
3.1.4	Princípios e valores .....	50
3.1.5	Organograma da ANE, IP .....	51
4	CASO DE ESTUDO .....	53
4.1	Descrição da estrada N260 .....	53
4.2	Composição da equipa de trabalho .....	54
4.3	Localização do estaleiro da obra .....	54
4.4	Descrição do projecto .....	55
4.5	Patologias da estrada N260 .....	57
4.6	Soluções adoptadas .....	62
4.6.1	Tapamento de buracos .....	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	67
5.1	Solo do subleito .....	67
5.1.1	Análise granulométrica .....	67
5.1.2	Ensaio de limites de Atterberg .....	68
5.1.3	Ensaio de compactação .....	69
5.1.4	Ensaio de CBR .....	70
5.1.5	Classificação do solo do subleito .....	74
5.2	Materiais para as misturas betuminosas a frio e a quente .....	76
5.2.1	Análise granulométrica .....	76
5.3	Materiais usados para o tratamento superficial duplo .....	78
5.3.1	Brita do tamanho de 19.00mm .....	78
5.3.2	Brita de tamanho 9.5mmmm .....	82
6	CONCLUSÃO .....	84
7	RECOMENDAÇÕES .....	85
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	86
9	ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um pavimento flexível- Fonte: Bernucci et al (2022) .....	4
Figura 2: Esquema de um pavimento rígido-Fonte: Bernucci et al (2022) .....	5
Figura 3: Esquema de tratamentos superficiais–fases de execução- Fonte: Bernucci et al (2022).....	11
Figura 4: Exemplos dos tipos de revestimento-Fonte: ANE, IP (2015) .....	12
Figura 5: Fases de execução do RSD-Fonte: Bernucci et al (2022) .....	19
Figura 6: Sequências de um tratamento superficial-Fonte: Bernucci et al (2022) .....	19
Figura 7: Rodeira de pequeno raio–Fonte: Maia (2012) .....	23
Figura 8: Rodeira de grande raio–Fonte: Maia (2012) .....	24
Figura 9: Estrada que sofreu exsudação-Fonte: Maia (2012) .....	25
Figura 10: Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via- Fonte: Bernucci et al (2022) .....	34
Figura 11: Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação-Fonte: Bernucci et al (2022) .....	35
Figura 12: Limites de Atterberg- Fonte: Das (2007) .....	38
Figura 13: Gráfico de plasticidade- Fonte: Das (2007).....	49
Figura 14: Logotipo da ANE .....	50
Figura 15: Localização da estrada–Fonte: Google Earth Pro .....	54
Figura 16: Localização da estrada N260-Fonte: ANE, IP.....	54
Figura 17: Localização do estaleiro–Fonte: Google Earth Pro .....	55
Figura 18: quarto troço e o desvio provisório- Fonte: Adaptado pelo autor .....	56
Figura 19: Fendas longitudinais- Fonte: Adaptado pelo autor .....	57
Figura 20: Fendas transversais- Fonte: Adaptado pelo autor .....	58
Figura 21: Fendas transversais-Fonte: Adaptado pelo autor .....	58
Figura 22: Fendas em bloco- Fonte: Adaptado pelo autor .....	58
Figura 23: Fendas do tipo pele crocodilo- Fonte: Adaptado pelo autor .....	58
Figura 24: Fendas do tipo pele de crocodilo- Fonte: Adaptado pelo autor .....	59
Figura 25: Buracos- Fonte: Adaptado pelo autor .....	59
Figura 26: Buracos- Fonte: Adaptado pelo autor .....	59
Figura 27: Remendo- Fonte: Adaptado pelo autor.....	60
Figura 28: Colapso dos bordos- Fonte: Adaptado pelo autor.....	60
Figura 29: Rodeiras- Fonte: Adaptado pelo autor .....	60
Figura 30: Rodeiras- Fonte: Adaptado pelo autor .....	61
Figura 31: Deformações- Fonte: Adaptado pelo autor .....	61
Figura 32: Exsudação-Fonte: Adaptado pelo autor.....	61

Figura 33: Operações de corte (A) e limpeza da área cortada-Fonte: A-ANE (2015), B e C-Adaptado pelo autor .....	62
Figura 34: Preparação da mistura da massa fria- Fonte: Adaptado pelo autor .....	63
Figura 35: A-Aquecimento do betume; B-Aquecimento dos agregados e C-mistura da massa quente-Fonte: Adaptado pelo autor .....	63
Figura 36: Colocação da massa betuminosa, compactação e o aspecto final-Fonte: Adaptado pelo autor .....	64
Figura 37: Equipamentos A-Camião espargidor; B-Espalhadeira-Fonte: Adaptado pelo autor .....	64
Figura 38: Equipamentos: A-Compactador pneumático; B-Camião basculante-Fonte: Adaptado pelo autor .....	64
Figura 39: Aspecto final da base após a impregnação com MC30-Fonte: Adaptado pelo autor .....	64
Figura 40: Limpeza e marcação do eixo-Fonte: Adaptado pelo autor .....	65
Figura 41: Aplicação do ligante na superfície imprimada- Fonte: Adaptado pelo autor .....	65
Figura 42: Espalhamento do agregado-Fonte: Adaptado pelo autor.....	65
Figura 43: Compactação dos agregados-Fonte: adaptado pelo autor .....	65
Figura 44: Aspecto final após a conclusão da primeira camada do TSD-Fonte: Adaptado pelo autor.....	65
Figura 45: Aplicação do ligante e o espalhamento da segunda camada do agregado-Fonte: adaptado pelo autor .....	66
Figura 46: Compactação e o aspecto final do pavimento-Fonte: Adaptado pelo autor.....	66
Figura 47: Gráfico da distribuição granulométrica do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor.....	68
Figura 48: Curva de fluidez da amostra do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor.....	68
Figura 49: Curva de compactação do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor .....	70
Figura 50: Curva força-penetração do ensaio de CBR- Fonte: Adaptado pelo autor .....	73
Figura 51: Relação CBR-Densidade seca- Fonte: Adaptado pelo autor .....	73
Figura 52: Curva granulométrica da areia para massas betuminosas-Fonte: Adaptado pelo autor.....	76
Figura 53: Curva granulométrica da brita para massas betuminosas-Fonte: Adaptado pelo autor .....	77
Figura 54: Curva granulométrica da brita para TSD-Fonte: Adaptado pelo autor.....	78
Figura 55: Gráfico dos resultados de ACV seco- Fonte: Adaptado pelo autor .....	79
Figura 56: Gráfico dos resultados de ACV húmido-Adaptado pelo autor .....	80
Figura 57: Gráfico da análise granulométrica da brita 9.5mm para TSD-Fonte: Adaptado pelo autor.....	82

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Factores que afectam a escolha do tipo de revestimento-Fonte: ANE, IP (2015).....	13
Tabela 2: Temperatura de pulverização do ligante-Fonte: SATCC (1998).....	16
Tabela 3: Taxas de aplicação do ligante-Fonte: SATCC (1998).....	16
Tabela 4: Especificações granulométricas para o agregado para o RSD- Fonte: SATCC (1998).....	17
Tabela 5: Índice de lamelação para RSD Fonte: SATCC (1998).....	17
Tabela 6: Taxas de aplicação do agregado-Fonte: SATCC .....	18
Tabela 7: Causas e efeitos dos defeitos superficiais-Fonte: ANE, IP (2015).....	27
Tabela 8: Tratamento de fendas-Fonte: ANE, IP (2015) .....	29
Tabela 9: Intervenções propostas para os defeitos superficiais-Fonte: ANE, IP (2015)	30
Tabela 10: Níveis de serventia-Fonte: DNIT (2003) .....	34
Tabela 11: Critérios de avaliação da irregularidade de um pavimento-Fonte: DNIT (2013).....	35
Tabela 12: Critério de IRI para aceitação das obras-Fonte: DNIT (2013).....	35
Tabela 13: Tipos de compactação de acordo com energias de compactação-Fonte: TMH (1986) .....	41
Tabela 14: Tipos de compactação de acordo com energias de compactação-Fonte: TMH (1986) .....	42
Tabela 15: Tabela dos tamanhos dos peneiros para separação dos finos-Fonte: TMH (1986).....	43
Tabela 16: Dimensões das ranhuras e massas das amostras para índice de lamelação-Fonte: TMH (1986) .....	44
Tabela 17: Classificação dos materiais do subleito-Fonte: Das (2007) .....	46
Tabela 18: Sistema Unificado de classificação dos solos-Fonte: Das (2007).....	48
Tabela 19: Organograma da ANE-Fonte: ANE, IP .....	51
Tabela 20: Análise granulométrica do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor ....	67
Tabela 21: Resultados dos ensaios de limite de liquidez e de plasticidade- Fonte: Adaptado pelo autor .....	68
Tabela 22: Resultados do ensaio de compactação- Fonte: Adaptado pelo autor.....	70
Tabela 23: Teor de humidade natural do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor	71
Tabela 24: Teor de água de moldagem- Fonte: Adaptado pelo autor .....	71

Tabela 25: Densidades obtidas com diferentes energias de compactação- Fonte: Adaptado pelo autor .....	72
Tabela 26: Dados de penetração do ensaio de CBR- Fonte: Adaptado pelo autor .....	72
Tabela 27: Valores de CBR com diferentes energias de compactação-Fonte: Adaptado pelo autor.....	73
Tabela 28: Dados do ensaio de análise granulométrica da areia para massa betuminosa- Fonte: Adaptado pelo autor .....	76
Tabela 29: Dados do ensaio de análise granulométrica da brita para massa betuminosa- Fonte: Adaptado pelo autor .....	77
Tabela 30: Dados do ensaio de análise granulométrica da brita para TSD-Fonte: Adaptado pelo autor .....	78
Tabela 31: Resultados do ACV seco da brita-Fonte: Adaptado pelo autor .....	79
Tabela 32 Tabela 31: Resultados do ACV húmido da brita-Fonte: Adaptado pelo autor .....	80
Tabela 33: Resultados do ensaio de índice de lamelação da brita 19.00mm-Fonte: Adaptado pelo autor .....	81
Tabela 34: Dados do ensaio de análise granulométrica da brita 9.5 para TSD-Fonte: Adaptado pelo autor .....	82
Tabela 35: Resultados do índice de lamelação da brita 9.5mm-Fonte: Adaptado pelo autor .....	83

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIações

AASHTO	<i>American Association State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	<i>Aggregate Crushing Value</i>
ANE, IP	Administração Nacional de Estradas, Instituição Pública
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
C <sub>c</sub>	Coeficiente de Curvatura
C <sub>u</sub>	Coeficiente de uniformidade
BA	Betão Asfáltico
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CPA	Camada Porosa de Atrito
CS	<i>Cape Seal</i>
D <sub>10</sub>	Diâmetro na curva granulométrica correspondente a 10% mais fino
D <sub>30</sub>	Diâmetro na curva granulométrica correspondente a 30% mais fino
D <sub>60</sub>	Diâmetro na curva granulométrica correspondente a 60% mais fino
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestruturas de Transporte
FACT	<i>Fines Aggregate Crushing Value</i>
IG	Índice de Grupo
IL	Índice de Lamelação
IP	Índice de Plasticidade
IRI	Índice de Irregularidade Internacional
LA	Lama asfáltica
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
N	Número de Pancadas
NBR	Norma Brasileira
P <sub>4</sub>	Percentagem passada acumulada no peneiro número 4 (abertura de 4.75mm)
P <sub>10</sub>	Percentagem passada acumulada no peneiro número 10 (abertura de 2.00mm)
P <sub>40</sub>	Percentagem passada acumulada no peneiro número 40 (abertura de 0.425mm)
P <sub>200</sub>	Percentagem passada acumulada no peneiro número 200 (abertura de 0.075mm)
PMF	Pré-Misturados a frio
RC	Revestimento <i>Cape</i>
ROD	Revestimento <i>Otta</i> duplo

RSD	Revestimento superficial duplo
RSS	Revestimento superficial simples
SATCC	<i>Southern Africa Transport and Communications Commissions</i>
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
TMH	<i>Technical Methods for Highways</i>
TSA	Tratamento Superficial com Areia
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples
TST	Tratamento Superficial Triplo
VSA	Valor de Serventia Actual
W	Teor de humidade
w <sub>N</sub>	Teor de humidade correspondente ao número de pancadas N

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Justificativa do tema e contextualização**

A escolha do tema é devido a importância das actividades de manutenção das estradas para garantir a integridade e a segurança estrutural das mesmas. Sendo, as estradas, infra-estruturas muito importantes para o desenvolvimento dum país, alguns danos ou defeitos das mesmas retardam o desenvolvimento do país. Daí que há uma necessidade de usar técnicas apropriadas de manutenção para o bom desempenho durante a vida útil das estradas.

A análise das metodologias utilizadas nessas obras visa a compreender os vários métodos que são empregados nessas obras para obedecer aos requisitos dos projectos e as normas técnicas vigentes de cada país. Visa também a avaliação da eficiência dos métodos de revestimento usados para garantir a qualidade e a durabilidade do pavimento. Já que o revestimento influencia muito a vida útil do pavimento e que depende de muitos factores como o clima, o tráfego e os métodos usados.

Hoje em dia a procura das soluções técnica e economicamente viáveis é o objectivo principal para a conservação e integridade dos pavimentos. Se procura soluções que não geram altos custos durante a vida útil do pavimento e que as soluções adoptadas prolonguem a vida da vida útil do pavimento, daí que é importante o uso dos melhores métodos de manutenção.

O tema se insere no contexto das práticas de engenharia civil especificamente no ramo de vias de comunicação, precisamente no campo de manutenção e reabilitação dos pavimentos. A manutenção das estradas compreende muitas fases que começam com a identificação dos defeitos até aos métodos de reparação. Um caso específico é a manutenção da EN260 no uso das técnicas de manutenção dos pavimentos.

## **1.2 Objectivos:**

### **1.2.1 Gerais**

O presente trabalho tem como objectivos gerais:

- Descrever os processos de execução de um pavimento
- Analisar os materiais usados no revestimento e averiguar, através dos ensaios laboratoriais, se vão de acordo com as especificações técnicas exigidas no projectos.

### **1.2.2 Específicos**

O presente trabalho tem como os seguintes objectivos específicos:

- Abordar de forma breve e sucinta a constituição de um pavimento
- Fazer o levantamento das patologias do pavimento da estrada N260
- Abordar as diferentes técnicas manutenção
- Descrever os ensaios laboratoriais efectuados nos materiais usados
- Realizar dos ensaios laboratoriais
- Apresentar os resultados de todos ensaios realizados
- Discutir os resultados dos ensaios laboratoriais obtidos
- Descrever os processos usados para tapamento de buracos
- Mostrar os procedimentos de execução da camada de revestimento

### **1.3 Metodologias**

- Consulta de bibliografias que estão relacionadas com o tema
- Pesquisas na internet
- Colheita de amostras dos materiais usados para a realização dos ensaios laboratoriais
- Consulta das normas técnicas como "o manual das normas de execução de obras de estradas"
- Observação directa na execução da obra
- Consulta dos apontamentos de cadeiras de Vias de Comunicação I e II leccionadas na faculdade de engenharia da UEM.
- Consulta dos docentes e do pessoal da obra.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Pavimento**

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Bernucci et al (2022)

Os autores ainda acrescentam que os pavimentos são projectados para que cada camada tenha uma certa espessura e rigidez e que o sistema de camadas responda com uma rigidez conjunta adequada às condições climáticas e geométricas do local e ao tráfego, durante sua vida de projecto.

#### **2.1.1 Constituição de um pavimento**

O pavimento é tipicamente constituído por quatro camadas principais:

- Revestimento
- Base
- Sub-base
- Reforço do subleito

Dependendo das condições como o tráfego e da disponibilidade dos materiais, algumas camadas podem ser excluídas. É possível que um pavimento seja constituído por apenas revestimento e base. Para além das camadas acima mencionadas, é comum que haja outra camada adicional que é a chamada regularização do subleito.

#### **2.1.2 Funções do pavimento**

O pavimento, segundo a NBR-7207/82 da ABNT tem as seguintes funções:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança
- Resistir aos esforços horizontais que nela actuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

#### **2.1.3 Classificação do pavimento**

Segundo DNIT 2006 o pavimento classifica-se em Flexível, Rígido e Semi-rígido.

### 2.1.3.1 Pavimento flexível

É aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. DNIT (2006)

Segundo Bernucci et al (2022), os pavimentos flexíveis são aqueles em que as camadas abaixo do revestimento asfáltico são constituídas por materiais granulares, solos, solo-agregados, entre outros.

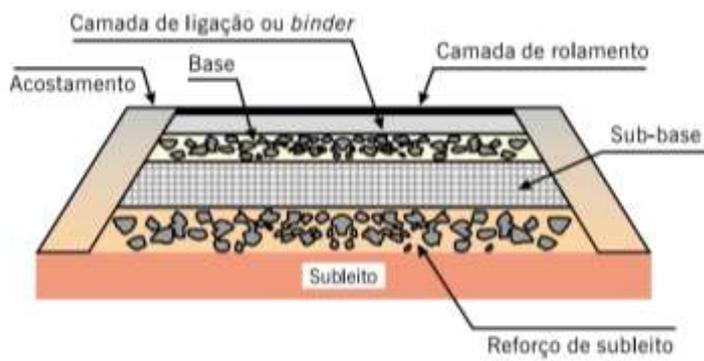


Figura 1: Esquema de um pavimento flexível- Fonte: Bernucci et al (2022)

### 2.1.3.2 Pavimento semi-rígido

O pavimento semi-rígido caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo-cimento revestida por uma camada asfáltica. DNIT (2006)

Segundo Bernucci et al 2022, os pavimentos semi-rígidos são aqueles em que abaixo do revestimento asfáltico, a base ou sub-base são constituídas por materiais cimentados ou aglutinados por ligante hidráulico, e que resistem aos esforços de tração.

### 2.1.3.3 Pavimento rígido

O Pavimento rígido é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. DNIT (2006)

Segundo Bernucci et al 2022, os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é uma placa de betão de cimento Portland.

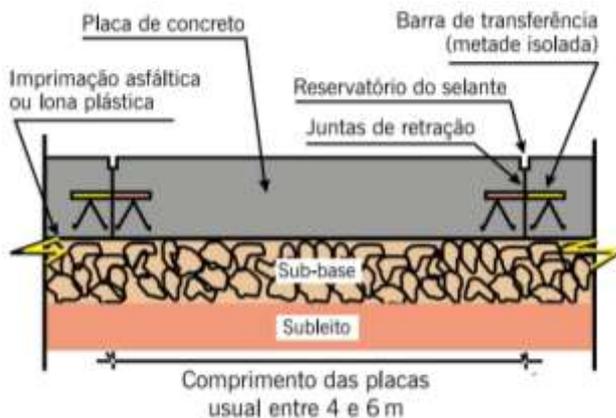


Figura 2: Esquema de um pavimento rígido-Fonte: Bernucci et al (2022)

## 2.1.4 Caracterização das camadas de um pavimento flexível

### 2.1.4.1 Revestimento

É a camada superior do pavimento, em mistura betuminosa constituída por uma mistura de agregados e betume, na qual o tráfego circula directamente; deve apresentar-se com uma superfície lisa, regular, não derrapante e resistente ao desgaste contínuo do tráfego.

### 2.1.4.2 Base

É a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos das cargas dos veículos e sobre a qual é construído o revestimento, situado acima da sub-base, quando existente, ou directamente sobre o leito.

Os materiais mais utilizados consistem de produtos de britagem, misturas de solos e misturas de solos com materiais britados.

A base também pode ser executada com materiais tratados ou estabilizados com aglomerantes, como cimento Portland, betume, cal, cinzas volantes e misturas desses aglomerantes.

### 2.1.4.3 Sub-base

É a camada construída sob a base, com as mesmas funções desta, mas que por posição na estrutura já pode ter características inferiores às da base, pois recebe esforços menores. Deve ter estabilidade e capacidade de suporte, óptima capacidade para drenar água acumulada e reduzida susceptibilidade às variações volumétricas. O material de

sub-base deve ser de melhor qualidade do que o solo do subleito ou reforço do subleito. Além de camada estrutural, a sub-base tem algumas funções secundárias que são:

- Prevenir a intrusão ou bombeamento do solo do subleito na base;
- Prevenir o acúmulo de água livre no pavimento;
- Proporcionar uma plataforma de trabalho para os equipamentos pesados utilizados na fase de construção do pavimento.

#### **2.1.4.4 Reforço de Subleito**

O reforço do subleito é obtido por tratamentos aplicados à superfície com a finalidade de aumentar a resistência do subleito, através de compactação realizadas com base no CBR, obtido através de controlo de qualidade. É a camada que desempenha função semelhante à da sub-base, sem especificações definidas, apenas com condições de apresentar características de suporte superiores às do subleito. Geralmente o material constituinte do reforço do subleito é um solo argiloso seleccionado, de boas características físicas e elevada resistência. A simples utilização de reforço de subleito indica um pavimento de elevada espessura advindo de um subleito de má qualidade, ou de um subleito de regulares condições associado a um tráfego intenso e pesado.

#### **2.1.4.5 Subleito do pavimento**

É o terreno onde repousa a estrutura do pavimento que pode ser excepcionalmente forte ou pouco resistente, que deverá suportar os esforços impostos pelo pavimento e seus carregamentos dentro de valores compatíveis com a resistência do mesmo. É o terreno de fundação do pavimento e que se não for executado com requintes técnicos pode comprometer todo o trabalho de pavimentação.

### **2.1.5 Tipos de revestimento em pavimentos flexíveis**

Bernucci et al (2022) apresenta os seguintes tipos de revestimentos dos pavimentos flexíveis:

#### **2.1.5.1 Misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas**

A mistura de agregados e ligante asfáltico, com adição ou não de outros aditivos, é realizada em usina estacionária, onde os componentes (agregados e o ligante) entram em temperatura adequada para promover o recobrimento completo dos agregados e a mistura para boa homogeneidade. As misturas a quente e as mornas distinguem-se em vários tipos, de acordo com o padrão granulométrico empregado e as exigências de características mecânicas, em função da aplicação a que se destinam.

### **a. Betão betuminoso usinado a quente (BBUQ) ou concreto asfáltico denso**

Trata-se do produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos, fíler e cimento asfáltico, podendo ter ainda alguns aditivos, aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante

O BA é a mistura asfáltica muito resistente em todos os aspectos, desde que adequadamente seleccionados os materiais que o compõem e dosados (proporcionados) convenientemente. Pode ser:

- Convencional: CAP e agregados aquecidos
- Especial quanto ao ligante asfáltico (com asfalto modificado por polímero, com asfalto-borracha ou com asfalto duro).

A proporção desta mistura depende das normas, além da proporção também existe o caso da graduação dos agregados que também depende das normas vigentes em cada país, para o caso de Moçambique usa-se as especificações técnicas de SATCC.

### **b. Camada porosa de atrito ou revestimento asfáltico drenante**

As misturas asfálticas abertas do tipo CPA mantêm uma grande percentagem de vazios com ar não preenchidos graças às pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Essas misturas asfálticas a quente possuem normalmente entre 18 e 25% de vazios com ar segundo a norma DNER-ES 386/99. A CPA é empregada como camada de rolamento com a finalidade funcional de aumento de aderência pneu-pavimento em dias de chuva e para a redução de ruído ao rolamento.

### **c. SMA – *stone matrix asphalt***

O SMA é um revestimento asfáltico, usinado a quente, concebido para maximizar o contacto entre os agregados graúdos, aumentando a interacção grão/grão; a mistura se caracteriza por conter uma elevada percentagem de agregados graúdos e, devido a essa particular graduação, forma-se um grande volume de vazios entre os agregados graúdos. Esses vazios, por sua vez, são preenchidos por um mastigue asfáltico, constituído pela mistura da fracção areia, fíler, ligante asfáltico e fibras. O SMA é uma mistura rica em ligante asfáltico, com um consumo de ligante em geral entre 6,0 e 7,5%, dependendo da granulometria dos agregados.

#### **d. Gap-graded**

Esse tipo de revestimento apresenta uma graduação com intervalo (gap) – descontínua densa, conhecida por gap-graded, que é uma faixa granulométrica especial que resulta em macrotextura superficial aberta ou rugosa, mas não em teor de vazios elevado.

#### **e. Revestimento asfáltico ultradelgado (Raud)**

É definido como uma mistura asfáltica de graduação descontínua (gap-graded), com elevada percentagem de agregados graúdos recobertos por uma argamassa constituída de areia britada, fíler e ligante asfáltico, produzida e aplicada a quente ou morna sobre uma pintura de ligação com emulsão asfáltica. A espessura do revestimento é determinada pelo tamanho máximo do agregado da mistura asfáltica, em geral entre 12,5 e 15 mm.

#### **f. AAUQ – areia asfalto usinada a quente**

Ainda dentro do grupo das misturas a quente, têm sido utilizadas na prática as argamassas asfálticas, também denominadas areia asfalto usinada a quente (AAUQ). Em regiões onde não há agregados pétreos graúdos, utiliza-se como revestimento uma argamassa de agregado miúdo, em geral areia, ligante (CAP), e fíler se necessário, com maior consumo de ligante do que os concretos asfálticos convencionais devido ao aumento da superfície específica.

##### **2.1.5.2 SAMI – stress absorbing membrane interlayer**

É geralmente composta por grande parcela de material granular miúdo (menor do que 4,75 mm) e ligante modificado por polímeros elastoméricos, podendo haver, ainda, a incorporação de aditivos (minerais e/ou químicos). A distribuição granulométrica dessa camada anti-reflexo de trincas é uma variável importante, principalmente por não existirem especificações de faixas granulométricas para ela. O mais comum é o uso de agregados que tenham todas as partículas passando pela peneira de 9,5 mm, uma vez que a camada deve ser delgada quanto à espessura e possibilitar elevado teor de ligante.

##### **2.1.5.3 Misturas asfálticas usinadas a frio**

Outro grupo de misturas, feitas em usinas estacionárias próprias, corresponde aos pré-misturados a fria em que se empregam as emulsões asfálticas como ligante para envolver os agregados. Também proporcionados de forma conveniente para atender certos requisitos de arranjo do esqueleto mineral, características volumétricas e de

resistência mecânica especificadas, são nesse caso realizadas sem aquecimento dos agregados. O ligante eventualmente pode sofrer um pequeno aquecimento, mas em geral é também usado na temperatura ambiente.

Os pré-misturados a frio (PMF) consistem em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com EAP à temperatura ambiente

#### **2.1.5.4 Misturas usinadas in situ em usinas móveis e aplicadoras especiais**

Em casos, principalmente, de selagem de trincas e restauração de algumas características funcionais, além dos tipos de mistura descritos acima, que empregam usinas estacionárias ou mesmo móveis em alguns casos (usinas que devem ser instaladas em um certo local nas proximidades da obra, podendo ser movidas com a progressão dos serviços de pavimentação, mas que seu produto deve ser transportado para a pista), é possível usar outros tipos de misturas asfálticas que se processam em usinas móveis especiais que promovem a mistura agregados- -ligante imediatamente antes da aplicação sobre a estrutura do pavimento, e que possuem sistema de distribuição sobre a pista. São misturas relativamente fluidas, como a lama asfáltica e o microrrevestimento asfáltico a frio.

##### **a. Lama asfáltica**

As lamas asfálticas consistem basicamente de uma associação, em consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento ou fíler, emulsão asfáltica e água, uniformemente misturadas e espalhadas no local da obra, à temperatura ambiente.

A lama asfáltica tem sua aplicação principal em manutenção de pavimentos, especialmente nos revestimentos com desgaste superficial e pequeno grau de fendilhação, sendo nesse caso um elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento.

##### **b. Microrrevestimento asfáltico**

Esta é uma técnica que pode ser considerada uma evolução das lamas asfálticas, visto que usa o mesmo princípio e concepção, porém utiliza emulsões modificadas com polímero para aumentar a sua vida útil. O microrrevestimento asfáltico é uma mistura a frio processada em usina móvel especial, de agregados minerais, fíler, água e emulsão com polímero, e eventualmente adição de fibras.

O microrrevestimento asfáltico pode ser utilizado em:

- Recuperação funcional de pavimentos deteriorados;
- Capa selante sobre tratamentos superficiais, sobre PMFs, sobre misturas usinadas abertas;
- Revestimento de pavimentos de baixo volume de tráfego; e
- Camada intermediária anti-reflexo de trincas em projectos de reforço estrutural.

#### **2.1.5.5 Misturas asfálticas recicladas**

Quando um pavimento asfáltico em uso apresenta irregularidade longitudinal acentuada ou torna-se deteriorado estruturalmente, há necessidade de restaurar sua planicidade e sua capacidade de carga pela colocação de espessuras adicionais de camadas ou o corte de todo ou parte do revestimento deteriorado por equipamento especial, a fresadora e execução de nova camada de revestimento asfáltico. O material gerado no corte deve ser reaproveitado por reciclagem na própria obra geradora ou em outra obra em que caibam as tecnologias de reciclagem.

Entende-se por reciclagem de camadas asfálticas o processo de reutilização de revestimentos asfálticos envelhecidos e deteriorados para produção de novas misturas asfálticas, aproveitando os agregados e ligantes remanescentes, provenientes da fresagem, com acréscimo de novos materiais, novos agregados, novos ligantes asfálticos, e ainda de agentes rejuvenescedores e aglomerantes hidráulicos (cal ou cimento) quando necessário.

#### **2.1.5.6 Tratamentos superficiais**

Os tratamentos superficiais consistem em aplicação de ligantes asfálticos e agregados sem mistura prévia, na pista, com posterior compressão (compactação) que promove o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes. Bernucci et al (2022)

Define Bernucci et al (2022), citando Larsen (1985), tratamento superficial por penetração como um revestimento flexível de pequena espessura, executado por espalhamento sucessivo de ligante betuminoso e agregado, em operação simples ou múltipla. O tratamento simples inicia-se, obrigatoriamente, pela aplicação única do ligante, que será coberto logo em seguida por uma única camada de agregado. A penetração é invertida. O tratamento múltiplo inicia-se em todos os casos pela aplicação do ligante que penetra de baixo para cima na primeira camada de agregado, enquanto a penetração das seguintes camadas de ligante é tanto “invertida” como “directa”.

As principais funções do tratamento superficial são:

- Proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência ao desgaste;
- Impermeabilizar o pavimento e proteger a infra-estrutura;
- Proporcionar um revestimento com maior aderência pneu/pavimento;
- Proporcionar um revestimento de alta flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infra-estrutura.

De acordo com o número de camadas sucessivas de ligantes e agregados, podem ser:

- TSS – tratamento superficial simples;
- TSD – tratamento superficial duplo;
- TST – tratamento superficial triplo.

Nos tratamentos múltiplos em geral a primeira camada é de agregados de tamanhos maiores e eles vão diminuindo à medida que constituem nova camada.

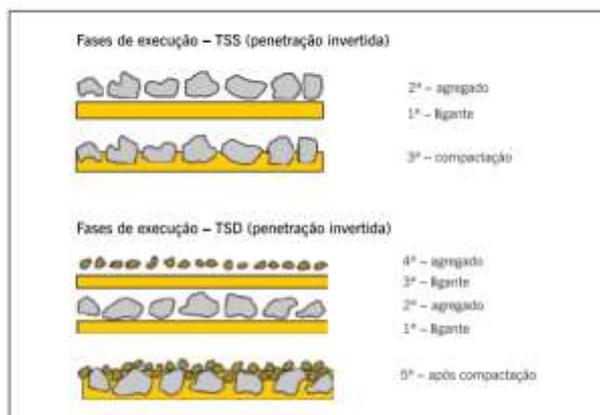


Figura 3: Esquema de tratamentos superficiais–fases de execução- Fonte: Bernucci et al (2022)

A ANE, IP (2015), menciona ainda mais dois tipos de revestimentos betuminosos que são a *Otta Seal* e *Cape Seal* (CS), que, também, fazem parte do grupo dos tratamentos superficiais.

***Otta Seal*:** Um revestimento do tipo *Otta Seal* é um tratamento de superfície asfáltica construído colocando um agregado graduado no topo de uma espessura aplicação de agente ligante betuminoso relativamente macio. Johnson e Pantelis (2008)

**Revestimento *Cape Seal* (CS):** O *Cape Seal* é um revestimento asfáltico delgado pertencente ao grupo dos tratamentos de superfície. Consiste basicamente na junção de uma camada de tratamento superficial simples (TSS) e uma camada superior de

microrrevestimento asfáltico de forma a melhorar a qualidade de rolamento, fechando os vazios do TSS e reunindo as propriedades desejáveis de ambos os revestimentos isoladamente.

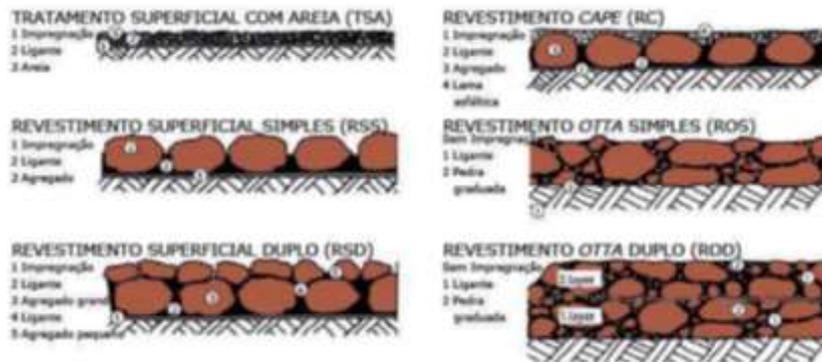


Figura 4: Exemplos dos tipos de revestimento-Fonte: ANE, IP (2015)

Cada tipo de revestimento está directamente relacionado com o tempo de vida útil do revestimento e dos custos da obra.

Segundo a ANE, IP (2015), os tratamentos superficiais são baratos e de construção rápida e o seu ciclo de vida em estradas de baixo volume de tráfego de aproximadamente 4 a 7 anos para o tratamento superficial duplo e 7 a 12 anos para o tratamento superficial duplo.

### 2.1.5.7 Factores que afectam a escolha do tipo de revestimento superficial

A tabela a seguir ilustra os factores que condicionam a escolha do tipo do revestimento.

Parâmetro	Grau	Tipo de revestimento			
		TSA	LA	TSS	TSD
Ciclo de vida	Curto				
	Médio				
	Longo				
Nível de tráfego	Baixo				
	Médio				
	Elevado				
Impacto da acção de curvar do tráfego	Baixo				
	Médio				
	Elevado				
Declive	Suave				
	Moderado				
	Acentuado				
Qualidade do material	Ma				
	Moderada				
	Boa				
Qualidade do pavimento	Ma				
	Moderada				
	Boa				
Adequação a métodos de trabalho manual					
Experiência/capacidade do empreiteiro	Baixa				
	Moderada				
	Elevada				
Capacidade de manutenção	Baixa				
	Moderada				
	Elevada				

Tabela 1: Factores que afectam a escolha do tipo de revestimento-Fonte: ANE, IP (2015)

Legenda	
	Menos adequado / não preferível
	Adequado / Preferível
	Não adequado / não aplicável

### 2.1.6 Execução do revestimento com revestimento superficial duplo

Neste subcapítulo, vai-se abordar sobre a execução do revestimento duplo, isto é, depois de se finalizar a camada da base.

Mais recentemente a aplicação dessa técnica vem sendo estendida também para restaurações de pavimentos, podendo ser executada sobre praticamente qualquer tipo de revestimento que não tenha irregularidades significativas e que não apresente sinais de defeitos estruturais quando utilizada isoladamente. Devido à pequena espessura do tratamento, é especialmente importante a sua ligação eficiente à superfície a receber o tratamento. Bernucci et al (2022)

Os autores ainda acrescentam que nos tratamentos superficiais por penetração é o agregado que confere a textura e a cor da pista, sendo suas funções principais:

- Transmitir as cargas até o substrato;
- Resistir à abrasão e à fragmentação pela acção do tráfego;
- Resistir ao intemperismo;
- Assegurar uma superfície antiderrapante;
- Promover uma drenagem superficial adequada.

Importa salientar que os tratamentos superficiais por penetração que se falam, referem-se aos revestimentos superficiais simples, duplos e triplos.

A execução de tratamentos superficiais por penetração é feita por meio da combinação de um caminhão espargidor, responsável pela distribuição do ligante asfáltico, com um distribuidor de agregados. Para que a adesão entre ligante asfáltico e a face do agregado aconteça de forma eficaz, faz-se necessário que o agregado esteja isento de pó e umidade. Bernucci et al (2022)

#### **2.1.6.1 Processos de execução do revestimento superficial duplo**

O revestimento superficial duplo é constituído por duas camadas de agregado sendo, a camada inferior, ou seja, a primeira camada tem a granulometria maior que a superior. Com a aplicação do ligante antes da aplicação do agregado da primeira camada e aplicação do mesmo, entre a primeira e a segunda camada.

De acordo com ANE, IP, 2015, a primeira camada deve ter dimensão nominal de 19,0mm e a última de 9,5mm.

O SATCC (1998), considera a aplicação de, para além das dimensões nominais de 19,0 para a primeira camada e 9,5 para a última, as dimensões de 13,2mm e 6,7mm respectivamente.

Antes da aplicação da camada do tratamento superficial duplo (TSD), aplica-se a rega de impregnação, que tem como funções principais:

- Preencher os vazios na superfície da base
- Estabelecer a ligação entre a base (estabilizada com cimento ou não) e o revestimento
- Actuar como impermeabilizante

#### a. Aplicação da rega de impregnação

De acordo com ANE, IP (2015), no código 410, e este código é usado para a aplicação de uma impregnação da camada de base antes da aplicação de um revestimento betuminoso.

Antes da aplicação da impregnação betuminosa, deve-se pulverizar a superfície com água limpa, isenta de concentrações de ácidos, sais, açúcares ou concentrações de metais. A rega de impregnação deverá atingir uma penetração nunca inferior a 3 mm, devendo preferencialmente ser de 5 mm.

Os materiais que podem ser usados são:

- Betume fluidificado do tipo MC30 (betume 85/100 fluidificado, numa razão de 80% de petróleo e 20% de betume)
- Emulsão betuminosa (SS60 – 60% de betume) diluída numa relação de 50/50 com água
- Com uma impregnação com alcatrão (TP7)

A taxa de aplicação deve ser de 0,6l/m<sup>2</sup>

A impregnação deve curar completamente (o pneu de carro já não levanta o material betuminoso, normalmente depois de 7 dias, mas 5 dias pode ser suficiente, em função das condições atmosféricas) antes de se permitir a passagem do tráfego.

#### b. Propriedades dos materiais

##### 1) Ligantes

Segundo ANE, IP (2015), os ligantes a aplicar podem ser:

- Betume de penetração nominal de 85/100 ou 150/200

- O MC3000: Preparado pela diluição do betume de penetração nominal 85/100 com 8 a 10% de petróleo.

- Temperaturas de pulverização

Material	Limites de temperaturas para pulverização (°C)		
	Mínimo	Máximo	Recomendado
85/100 pen	165	190	175
150/200 pen	135	155	145
MC3000	135	155	145

Tabela 2: Temperatura de pulverização do ligante-Fonte: SATCC (1998)

- As taxas de aplicação do ligante

Tamanho do agregado (mm)	Taxa de aplicação do ligante (l/m <sup>2</sup> )
9.5	1.0
13.2	1.2
19.0	1.4

Tabela 3: Taxas de aplicação do ligante-Fonte: SATCC (1998)

## 2) Agregados

- Classificação do agregado

A granulometria do agregado deverá estar de acordo com a tabela 4302/8 para granulometrias das classes 1, 2 e 3 de SATCC.

Tamanho da peneira (mm)	Classe	Porcentagem pela passagem de massa					
		Tamanho nominal de 26.5 mm	Tamanho nominal de 19.0 mm	Tamanho nominal de 13.2 mm	Tamanho nominal de 9.5 mm	Tamanho nominal de 6.7 mm	Tamanho nominal de 2.36 mm
37.5	Classes 1 e 2	100	-	-	-	-	-
26.5		85-100	100	-	-	-	-
19.0		0-30	85-100	100	-	-	-
13.2		0-5	0-30	85-100	100	-	-
9.5		-	0-5	0-30*	85-100	100	-
6.7		-	-	0-5**	0-30*	85-100	-
4.75		-	-	-	0-5**	0-30*	100
2.36		-	-	-	-	0-5**	0-100
	Classe 3	A classificação deverá obedecer aos requisitos para as Classes 1 e 2 com as seguintes exceções: *0-50 **0-10					
Conteúdo dos agregados: material passando por uma peneira de 0.425 mm (Max.)	Classe 1 Classe 2 Classe 3	0.5 1.5 N/A	0.5 1.5 N/A	0.5 1.5 2.0	0.5 1.5 2.0	0.5 2.0 3.0	15.0 15.0 15.0
Conteúdo de poeira: material passando por uma peneira de 0.075 mm (Máx.)	Classe 1 Classe 2 Classe 3	N/A 0.5 N/A	N/A 0.5 N/A	N/A 0.5 1.5	N/A 0.5 1.5	N/A 1.0 1.5	2.0 2.0 2.0

Tabela 4: Especificações granulométricas para o agregado para o RSD- Fonte: SATCC (1998)

- Dureza

A dureza do agregado deverá ser determinada de acordo com - TMH1 Método B2. O valor de 10% FACT deverá, no mínimo, ser de 210 kN e o quociente entre o ensaio molhado e o seco deverá ser de pelo menos 75%.

- Índice de lamelação

O índice de lamelação máximo, quando testado de acordo com o Método B3 da TMH1, deverá obedecer aos requisitos na tabela 4302/10 de SATCC.

Tamanho nominal do agregado (mm)	Índice máximo de lamelação (%)	
	Classe 1	Classe 2 e 3
19,0	25	30
13,2	25	30
9,5	30	35
6,7	30	35

Tabela 5: Índice de lamelação para RSD Fonte: SATCC (1998)

- Taxas de aplicação do agregado

Tamanho nominal do agregado (mm)	Taxas nominais de aplicação (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
19,0	0,014
13,2	0,009
9,5	0,006
6,7	0,005

Tabela 6: Taxas de aplicação do agregado-Fonte: SATCC

### c. Equipamentos

- Camião espargidor: para distribuir ligante betuminoso
- Camião espalhador de agregados
- Rolo pneumático
- Camiões basculantes
- Camião-tanque de água
- Outros: pás, vassouras, etc.

### d. Fases de execução

#### 1º. Preparação da superfície

Essa envolve a preparação da superfície a ser revestida, isto é, limpeza, varrimento e remoção de todo o material solto e resíduos. São usados compressor de ar e vassouras.

#### 2º. Primeira camada: camada de aderência e agregado de 19,0mm.

A aplicação dessa camada inicia após a cura da rega de impregnação. Inicia-se com aplicação do ligante betuminoso, depois do agregado e posteriormente a sua compactação.

A aplicação do ligante é feita por meio do camião espargidor e a distribuição do agregado é feita por um espalhador de agregados.

#### 3º. Segunda camada: segunda aplicação do ligante betuminoso e agregados de 9,5mm.

Esta camada é executada entre do 2 a 3 dias depois do término da primeira camada e segue os mesmos passos que da primeira, diferindo apenas no tamanho do agregado.

As duas figuras seguintes ilustram as sequências de execução de um revestimento superficial duplo.

Fases de execução – TSD (penetração invertida)

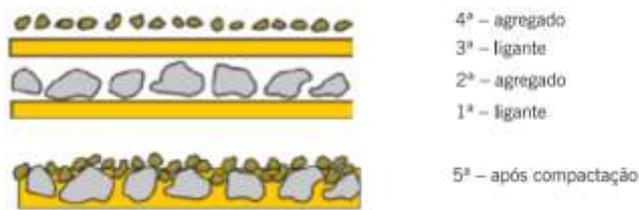


Figura 5: Fases de execução do RSD-Fonte: Bernucci et al (2022)



Figura 6: Sequências de um tratamento superficial-Fonte: Bernucci et al (2022)

## e. Abertura do tráfego

Para a passagem do tráfego a última camada deve estar devidamente curada e os agregados firmemente fixos. Isso ocorre em menos de um dia.

## 2.1.7 Manutenção do pavimento

### 2.1.7.1 Definição de manutenção do pavimento

A manutenção do Pavimento se constitui no conjunto de operações que são desenvolvidas objectivando manter ou elevar, a níveis desejáveis e homogêneos, as características Gerais de Desempenho - segurança, conforto e economia do pavimento, considerando globalmente todos os componentes de Rodovia (Pavimento, Terraplenagem, Protecção de Corpo Estradal, Obras-de-Arte Correntes, Obras-de-Arte Especiais, Drenagem, Sinalização, Obras Complementares, etc.). DNIT (2006)

Todas estradas sofrem deterioração ao longo do tempo como resultado do tráfego, das condições ambientais e da execução das mesmas. Caso a estrada não seja bem executada, a deterioração vai ocorrer mais cedo do que se espera.

A deterioração pode ser relativamente fácil de corrigir ou pode exigir a execução de grandes trabalhos, dependendo das causas e da gravidade da deterioração.

### 2.1.7.2 Tipos de manutenção do pavimento

São as seguintes categorias de manutenção de estrada segundo ANE, IP, 2015:

- a. **Manutenção de rotina**—esta engloba os trabalhos que devem ser realizados regularmente ou em períodos pré-determinados durante o ano de manutenção. Estas actividades poderão incluir o corte de relva, reparação de buracos, selagem de fendas, limpeza das valetas e manutenção do equipamento rodoviário.
- b. **Manutenção periódica**—manutenção que deve ser executada em intervalos mais longos, por exemplo, 5-10 anos. Normalmente esta categoria exclui o reforço estrutural. Várias actividades poderão ser abrangidas por esta categoria. A colocação de um revestimento novo, Marcação rodoviária e a colocação de saibro nas bermas
- c. **Manutenção melhorada**—este não é um termo usualmente empregado no que se refere à manutenção, mas nos casos em que é aplicado faz uma enorme diferença na gestão rodoviária. A manutenção melhorada diz respeito à intervenção que é levada a cabo numa estrada com o objectivo de reduzir as necessidades de manutenção.
- d. **Manutenção de emergência**—Manutenção que tem de ser imediatamente realizada em resultado de um problema inesperado, como por exemplo, limpeza da via após queda de rochas.
- e. **Reabilitação**—este termo é normalmente utilizado quando é necessário efectuar um reforço estrutural e inclui recarga.
- f. **Reconstrução**—Significa normalmente que pelo menos uma camada do pavimento necessita de ser novamente processada.
- g. **Melhoria**—Significa normalmente que é necessário efectuar um reforço e alguma alteração do traçado.

A principal diferença entre as categorias das estradas acima mencionadas é relacionada como os custos de manutenção, que crescem exponencialmente de manutenção de rotina até a melhoria.

A escolha do tipo de manutenção está relacionada com os tipos de defeitos e os custos associados. E vale ressaltar que, deve-se identificar com cautela as patologias para que se empregue uma solução técnica e economicamente viável na manutenção. Como as "normas de execução de estradas" da ANE salientam, as reparações são determinadas pela causa ou causas de deterioração e pelo grau de progressão da deterioração e que a identificação destas causas tem deste modo uma importância crucial. E ainda acrescenta que a manutenção de rotina deve ser feita continuamente, não precisa fazer uma avaliação da estrada para determinação da escala das obras a serem executadas.

### **2.1.8 Patologias dos pavimentos**

Os factores que provocam deterioração dos pavimentos, de acordo com ANE, IP, 2015 são:

- Tráfego: volume de tráfego, carga por eixo, pressão dos pneus, tipos de suspensão
- Qualidade dos materiais
- Factores ambientais: principalmente a temperatura e a umidade
- Técnicas construtivas: construção inadequada, falta de manutenção e/ou manutenção inadequada
- Resistência do subleito
- Idade.

Segundo ANE, IP (2015), os procedimentos de diagnóstico seguem um padrão lógico. A primeira fase requer a adopção de medidas simples e consequentemente baratas. São normalmente compostas por um estudo teórico da informação disponível acerca da estrada, seguida de uma inspecção visual.

#### **2.1.8.1 Estudo documental do pavimento**

- Documentos de projecto: os documentos de projecto são importantes para a obtenção de um conhecimento sobre a estrutura da estrada. Os materiais utilizados na construção das estradas influenciam o ritmo de deterioração e o modo de deterioração.

- Dados de construção: a construção deficiente é um factor essencial da deterioração rápida de muitas estradas. Isto resulta da má qualidade durante a construção.
- Tráfego: a natureza do tráfego que circula na estrada está claramente relacionada com o tipo de deterioração que ocorre e deste modo com as reparações adequadas.
- Ambiente da estrada: para muitas LVRs, o efeito do ambiente é muito significativo. O regime de humidade é preponderante para o desempenho do pavimento e, conseqüentemente, o seu conhecimento é muito útil para a identificação das possíveis razões de deterioração.
- Entidade responsável: é importante saber qual a entidade responsável pela manutenção.

### **2.1.8.2 Inspeção visual**

A natureza, extensão, severidade e localização das seguintes patologias devem ser registadas.

A ANE, IP, 2015 menciona os seguintes tipos de patologias:

- Fendilhamento
- Buracos e remendos
- Colapso dos bordos e bermas
- Rodeiras
- Deformação (excluindo as rodeiras)
- Anomalias no revestimento; como por exemplo, exsudação, descascamento, peladas

#### **a. Fendilhamento**

A avaliação do fendilhamento deve permitir determinar se o pavimento está a ser afectado por problemas associados a cargas ou outros. O tipo de fenda serve de auxílio para esta determinação, uma vez que os padrões das fendas fornecem indicações importantes sobre as causas. Os padrões são os seguintes:

- Fendas longitudinais
- Fendas transversais
- Fendas em bloco
- Pele de crocodilo

- Fendas parabólicas

## b. Buraco e remendos

Os buracos constituem rupturas estruturais que incluem o revestimento e a camada de base. São normalmente causados pela penetração da água numa superfície fendilhada e pelo enfraquecimento da camada de base. A circulação do tráfego causa a ruptura do revestimento e o conseqüente desenvolvimento de um Buraco. Em resultado dos riscos envolvidos para o utente, os buracos são normalmente remendados como tarefa prioritária.

Apesar dos remendos não serem necessariamente anomalias, são indicativos das condições prévias da estrada e são incluídos na avaliação.

## c. Colapso dos bordos e condição das bermas

O colapso dos bordos é causado pela prática de uma deficiente manutenção da berma provocando uma sobre-elevação do pavimento da via em relação à berma adjacente. Deste modo, o bordo não suportado poderá partir sob o peso da circulação do tráfego, tornando a faixa de rodagem mais estreita.

## d. Rodeiras

As deformações associadas às cargas ou rodeiras surgem como depressões na zona de passagem dos rodados dos veículos. É o resultado de uma acumulação de tensões verticais não recuperáveis nas camadas do pavimento e no terreno de fundação causada pelas cargas do tráfego. Na sua fase inicial este tipo de rodeira não está associado à ruptura por corte (ou deslizamento) das camadas superiores do pavimento até se tornar muito severa. As rodeiras também poderão ser o resultado da ruptura por corte quer nas camadas de pavimento não ligadas ou nas camadas de pavimento betuminoso resultando em deslizamento no bordo do pavimento.

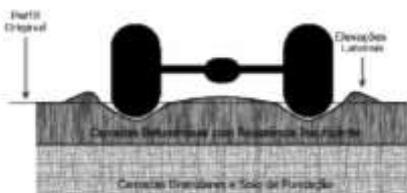


Figura 7: Rodeira de pequeno raio—Fonte: Maia (2012)

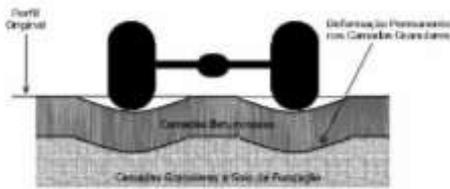


Figura 8: Rodeira de grande raio–Fonte: Maia (2012)

As deformações localizadas causadas pelo assentamento das camadas do pavimento, de construção e por movimentos diferenciais nas estruturas, particularmente nos aquedutos, devem ser registadas.

Estas são facilmente observáveis após períodos de chuva uma vez que demoram mais a enxugar do que o resto do pavimento.

#### **e. Anomalias no revestimento**

Existem inúmeras anomalias no revestimento que não são sintoma de rupturas estruturais e conseqüentemente não exigem levantamentos estruturais, apesar de serem indicativos da existência de problemas ao nível dos materiais de revestimento

#### **f. Exsudação generalizada e exsudação**

A exsudação é normalmente observada primeiramente na zona de passagem dos rodados dos veículos e resulta do facto de o betume ser empurrado contra a superfície do pavimento pela acção do tráfego. A exsudação betuminosa da superfície é uma forma menos severa de exsudação pela qual a superfície fica muito lisa, mas existe pouco ligante para formar uma película contínua na superfície. Nos revestimentos finos, poderá ser causada pela variabilidade na superfície preparada ou pelo controlo de qualidade deficientemente realizado durante a operação de pulverização e revestimento.

Segundo Maia (2012), as principais causas para a ocorrência de exsudação de betume estão relacionadas com a deficiente composição da mistura betuminosa, pelo excesso de betume, e/ou uma reduzida porosidade.



Figura 9: Estrada que sofreu exsudação-Fonte: Maia (2012)

### **g. Arrancamento de gravilha e decapagem**

O arrancamento de gravilha consiste na perda progressiva de agregados finos do pavimento e ocorre quando pequenos movimentos de partículas individuais, sob a acção do tráfego, excedem o ponto de ruptura do betume.

Tem tendência para ocorrer no final da vida útil do revestimento após o próprio betume se ter deteriorado com o envelhecimento e inicia-se normalmente nas áreas de grande tensão de tráfego, nomeadamente em curvas apertadas. A perda de agregados finos na superfície resulta da ausência de interligação mecânica que poderá finalmente levar à perda de agregado grosso e à formação de buracos. O resultado será um buraco pouco profundo ou uma série de buracos.

### **h. Perda de gravilha de um tratamento superficial**

A perda de gravilha de um tratamento superficial resultante da deficiente adesão entre o ligante e o agregado surge no período inicial da vida útil do revestimento. Inicia-se nos trilhos dos pneus, mas, com o tempo, o problema poderá alargar-se a toda a faixa de rodagem, tornando-se difícil diferenciar este tipo de ruptura da exsudação. Contudo, pode ser frequentemente identificada por uma acumulação de gravilha no bordo do pavimento.

### **i. Ondulação**

A ondulação consiste tipicamente numa série de ondas perpendiculares ao eixo da via, estendendo-se normalmente a toda a largura da faixa de rodagem. O seu espaçamento, ou comprimento de onda, situa-se normalmente entre os 0,5-1,0 metros, mas, poderá em alguns casos, atingir os 10 metros. São comuns em estradas com brita. Nas estradas seladas são causados pela instabilidade da camada de base não ligada.

Os factores que contribuem para a ondulação do pavimento: Maia (2012)

- Deficiência construtiva;
- Má distribuição do ligante;
- Camadas constituídas por betão betuminoso onde pode ocorrer o arrastamento da mistura por excessiva deformação plástica;
- Deformação da fundação, esta deriva de assentamentos por consolidação diferencial dos solos ou deficiências de compactação de aterros.

#### **j. Deterioração causada por drenagem insuficiente**

As rupturas localizadas do pavimento são muitas vezes causadas pelo projecto deficiente ou pela má manutenção das valetas, das valas de drenagem e das estruturas de drenagem transversa.

#### **i. Estabilidade do solo e dos taludes – Problemas geotécnicos**

Um motivo relativamente comum para a ruptura do pavimento são os problemas geotécnicos subjacentes. Os pavimentos são essencialmente concebidos para a protecção das camadas subjacentes e mais fracas em relação às tensões causadas pelo tráfego.

##### **2.1.8.3 Causas e efeitos dos defeitos superficiais**

Deterioração	Agente da deterioração	Interpretação ou efeito
Fendilhamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tráfego pesado</li> <li>• Elevado teor de humidade no pavimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura do revestimento devido ao envelhecimento ou fragilidade do ligante</li> <li>• Rotura por corte das camadas do pavimento especialmente da camada de base</li> <li>• Expansividade dos materiais de fundação</li> <li>• Roturas geotécnicas</li> </ul>
Formação de rodeiras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas pesadas</li> <li>• Teor de humidade elevado no pavimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura das camadas de pavimento</li> <li>• Deslizamento lateral do revestimento</li> </ul>

Deformação generalizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas pesadas</li> <li>• Nível freático elevado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assentamento das fundações da estrada comum, em solos colapsáveis</li> <li>• Rotura geotécnica</li> <li>• Terreno de fundação expansivo</li> <li>• Aterro instável</li> </ul>
Buracos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tráfego</li> <li>• Penetração de humidade através da superfície</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimento fendilhado</li> <li>• Peladas</li> <li>• Revestimento com delaminação</li> <li>• Ligante friável</li> </ul>
Peladas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tráfego</li> <li>• Humidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligante inadequado</li> <li>• Má adesão</li> <li>• Ligante friável</li> <li>• Dimensionamento inadequado do revestimento</li> <li>• Força tangencial elevada (declive ou curva acentuados)</li> </ul>
Exsudação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga pesada</li> <li>• Calor excessivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação excessiva de ligante</li> <li>• Deficiente aplicação de agregado</li> </ul>
Fendas na berma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tráfego</li> <li>• Escoamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bermas não revestidas</li> <li>• Desnível da berma excessivo</li> <li>• Material fraco na berma</li> <li>• Falta de manutenção das bermas</li> </ul>
Bombagem de finos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tráfego</li> <li>• Presença de água na interface entre o revestimento e a camada de base</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delaminação da superfície</li> <li>• Fissuração do revestimento</li> <li>• Material deficiente na interface entre o revestimento e a camada de base</li> <li>• Fadiga da camada de base</li> </ul>

Tabela 7: Causas e efeitos dos defeitos superficiais-Fonte: ANE, IP (2015)

## 2.1.9 Técnicas de manutenção

### 2.1.9.1 Tratamento de fendas de revestimento localizadas

Existem algumas fendas de revestimento, que quando localizadas, poderão ser tratadas sem requerer a execução de ensaios adicionais. As causas e tratamentos sugeridos para estes tipos de problemas no pavimento são apresentados na Tabela a seguir.

Anomalias	Extensão	Tratamento da manutenção	Notas
Arrancamento de gravilha	<10%	Aplicação localizada de remendos	Poderá ser necessária a aplicação local de agregado aquecido se a qualidade antiderrapante for um problema.
	>10%	Tratamento com revestimento superficial ou lama asfáltica	
Perda de gravilha, exsudação generalizada e exsudação	<10%	Nenhuma acção	Poderá ser necessária a aplicação local de agregado aquecido se a qualidade antiderrapante for um problema.
	>10%	Necessidade de execução de ensaios adicionais	Poderá ser necessária a aplicação de um novo revestimento superficial
Perda de textura e/ou polimento dos agregados	<10%	Nenhuma acção	
	>10%	Necessidade de execução de ensaios adicionais	Poderá ser necessária a aplicação de um novo revestimento superficial
Buracos	Qualquer	Aplicação de remendos	Os buracos derivam de outras falhas tais como fendilhamento e deformação e normalmente é necessária a execução de ensaios adicionais

Colapso dos bordos	Qualquer	Aplicação de remendos no pavimento e reconstrução da berma	
--------------------	----------	--	--

Tabela 8: Tratamento de fendas-Fonte: ANE, IP (2015)

### 2.1.9.2 Intervenções propostas para os defeitos superficiais

Deterioração	Intervenções
Fendilhamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vedação das fendas e/ou rega de colagem</li> <li>• Vedação das fendas e reforço com um revestimento resistente a cargas como por exemplo uma mistura betuminosa a frio</li> <li>• Vedação das fendas e revestimento dos taludes laterais com material plástico</li> </ul>
Formação de rodeiras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo das sobrecargas e/ou reforço com uma mistura betuminosa a frio</li> <li>• Substituição do revestimento</li> </ul>
Deformação generalizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se for pouco cavado, reparação do nível de deformação da camada de base e revestimento novo</li> <li>• Concepção e construção de muros de suporte</li> <li>• Revestimento dos taludes laterais com material plástico</li> <li>• Colocação de vegetação nos taludes laterais ou reparação da deformação ao nível da camada de base.</li> </ul>
Buracos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selagem das fendas</li> <li>• Reparação dos buracos com remendos constituídos por uma pré-mistura</li> <li>• Substituição de pedras</li> <li>• Melhoria das condições de drenagem e substituição do revestimento.</li> <li>• Colocação de novo revestimento</li> </ul>

Pele de crocodilo (fendilhamento generalizada)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substituição de pedras e aplicação de rega de colagem Substituição de pedras + rega de colagem</li> <li>• Rega de colagem e colocação de novo revestimento Colocação de novo revestimento</li> <li>• Colocação de novo revestimento contendo agregado grosso</li> </ul>
Exsudação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adição de brita fina e compactação</li> <li>• Colocação de novo revestimento</li> </ul>
Fendas na berma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimento das bermas</li> <li>• Colocação de gravilha nas bermas para diminuição do desnível</li> <li>• Permitir o crescimento da vegetação ou substituição do material</li> <li>• Calendarização da colocação de gravilha nas bermas</li> </ul>
Bombagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substituição do revestimento e de parte da camada de base</li> </ul>

Tabela 9: Intervenções propostas para os defeitos superficiais-Fonte: ANE, IP (2015)

### 2.1.9.3 Tratamento da deterioração e ruptura na estrutura do pavimento

As rupturas estruturais podem ocorrer (ou já ocorreram) no interior do pavimento a uma certa profundidade. Idealmente, as reparações ou reabilitação devem ser efectuadas aos primeiros sinais de ruptura de forma a evitar a sua ocorrência mais generalizada; cobri-las apenas serve para adiar a reconstrução do pavimento que acabará por ser necessária. Normalmente, é necessário efectuar remendos profundos e, nos casos em que seja necessário efectuar remendos a grande profundidade, deve-se optar pela reconstrução.

### 2.1.9.4 Reconstrução

Por vezes poderão ocorrer circunstâncias em que nenhuma das razões acima apresentadas parecerão ser suficientes por si só para justificar a reconstrução, uma vez que os defeitos ocorrem simultaneamente. A combinação de defeitos poderá aumentar de tal forma os riscos que a reconstrução se torna a única opção lógica. Esta decisão baseia-se na opinião técnica dos responsáveis pela avaliação do pavimento.

Essas são as técnicas de manutenção segundo bernucci et al (2022):

- **Para pavimentos com defeitos funcionais**

- a. Lama asfáltica: selagem de trincas e rejuvenescimento
- b. Tratamento superficial simples ou duplo: Para selagem de trincas e restauração da aderência superficial)
- c. Microrrevestimento asfáltico: selagem de trincas e restauração da aderência superficial quando existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego
- d. Concreto asfáltico: quando o defeito funcional principal é a irregularidade longitudinal elevada, sendo a correção obtida com espessuras que possibilitem a diminuição da irregularidade)
- e. Mistura do tipo camada porosa de atrito: para melhorar a condição de atrito e o escoamento de água superficial, assim como diminuir a irregularidade longitudinal elevada

Também pode se usar a combinação de diferentes técnicas, a aplicação destas combinações é feita consoante o estudo rigoroso e se revelarem técnica e economicamente viáveis.

- **Para pavimentos com defeitos estruturais**

Quando existe o comprometimento estrutural do pavimento as alternativas de restauração ou reforço compreendem aquelas que restabelecem ou incrementam sua capacidade estrutural por meio da incorporação de novas camadas (recapeamento) à estrutura e/ou tratamento de camadas existentes (reciclagem, por exemplo).

Os tipos de revestimento geralmente utilizados como recapeamento são o BA, o SMA (como camada de rolamento para resistir a deformações permanentes em vias de tráfego pesado) e as misturas descontínuas. Esses tipos de revestimento são utilizados isoladamente ou combinados e podem ser:

- a. Betão asfáltico;
- b. Pré-misturado a quente + betão asfáltico;
- c. Betão asfáltico + SMA;
- d. SMA e outras misturas asfálticas de granulometria descontínua;
- e. Tratamento superficial duplo ou microrrevestimento asfáltico + Betão asfáltico.

### **2.1.10 Planeamento da manutenção do pavimento**

O planeamento constitui uma parte essencial do processo de manutenção. Os orçamentos destinados à execução de trabalhos de manutenção são limitados e muitas vezes inadequados, especialmente no que se refere às estradas de baixo volume de tráfego. ANE, IP (2015)

Os fundamentos do planeamento da manutenção incluem:

- i. Listagem e definição clara das actividades de manutenção
- ii. Definição das prioridades das várias actividades de manutenção, de acordo com a sua importância independentemente dos custos.
- iii. Distribuição de recursos, tais como materiais, mão-de-obra, tempo e fundos.
- iv. Determinação da calendarização adequada para o desenvolvimento das actividades, por exemplo, agendar a selagem de fendas de forma a ser executada antes da época das chuvas.
- v. Articular a execução das actividades prioritárias com os recursos disponíveis — Não existe nenhuma vantagem associada ao planeamento de actividades para a execução das quais não existem fundos disponíveis.
- vi. É essencial consultar e estar em ligação com os responsáveis pela manutenção durante a formulação de um plano de manutenção. Estes responsáveis, como por exemplo, os supervisores, capatazes e até mesmo os trabalhadores normais poderão fornecer informações essenciais e soluções.
- vii. É também importante determinar os fluxos de caixa, uma vez que este aspecto é frequentemente o responsável pela falta de execução de trabalhos de manutenção, quer através de trabalhos de régie quer através do sector privado.

### **2.1.11 Desempenho do pavimento**

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade, compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. Assim, o desafio de projectar um pavimento reside em conceber uma obra de engenharia que cumpra demandas estruturais e funcionais. Aliado a esses dois objectivos, o pavimento deve ainda ser projectado da forma mais económica possível, atendendo às restrições orçamentárias. Mas, como se sabe, a vida útil de um pavimento é relativamente curta em comparação com outras obras civis. Porém, um pavimento bem dimensionado e bem

construído não tem ruptura súbita, acumulando defeitos à medida que é solicitado pelo tráfego e pelo clima. Assim, é necessária uma constante observação do pavimento para detectar os primeiros sinais dos defeitos e acompanhar seu crescimento para intervir com correções no momento adequado de forma a minimizar a evolução acelerada do defeito.

Devido às características do pavimento e de sua interação com os veículos, seu desempenho pode ser avaliado sob a óptica de três aspectos: funcional, estrutural e de segurança.

- A avaliação funcional se detém sobre os defeitos superficiais e seus reflexos no conforto ao rolamento.
- A avaliação estrutural consiste em determinar a capacidade de carga do pavimento e a eventual necessidade de reforço da estrutura existente para garantir seu desempenho por um tempo adicional de vida útil.
- A avaliação da segurança se relaciona a muitos aspectos, mas no que diz respeito ao pavimento trata da interação pneu-pavimento quanto aos aspectos de atrito, aquaplanagem e resistência à derrapagem, portanto, basicamente, de aderência pneu-pavimento, em qualquer condição climática.

#### **2.1.11.1 Serventia**

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação do estado da sua superfície e como este estado influencia no conforto ao rolamento.

A serventia é definida como a capacidade de um pavimento, construído em determinado trecho, servir ao usuário em um dado momento quanto ao seu conforto ao rolamento (e em parte quanto à segurança). Este parâmetro foi definido como uma escala de 0 a 5, sendo 5 a nota dada à condição ideal da superfície do pavimento, que vai decaindo ao longo da solicitação do tráfego. Bernucci et al (2022)

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Tabela 10: Níveis de serventia-Fonte: DNIT (2003)

O VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois factores principais: o tráfego e as intempéries. Como mostra a figura seguinte:

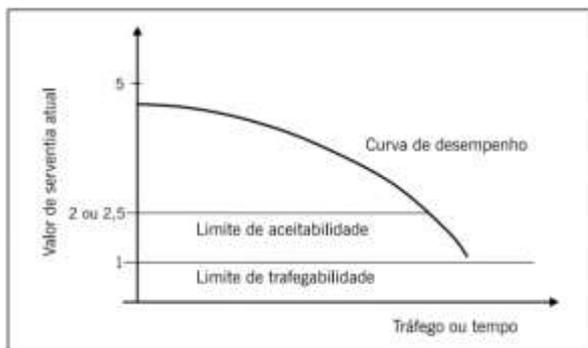


Figura 10: Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via-Fonte: Bernucci et al (2022)

Na prática, sempre que o valor de serventia actual atinge 2.5 ou 2, uma intervenção de manutenção correctiva deve ser realizada de modo a repor o índice a um valor superior. No período em que o pavimento apresenta VSA acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica de modo a prolongar o tempo em que o mesmo permanece em condição aceitável quanto ao rolamento.

### 2.1.11.2 Irregularidade longitudinal

A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento, em relação a um plano de referência ideal do projecto geométrico, que afecta a dinâmica do veículo, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. Existe um índice internacional para a medida da irregularidade, designado de IRI (índice de irregularidade internacional), que é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projecto. A figura a seguir mostra as faixas de variação do IRI, em diversas situações e categorias de pavimentos

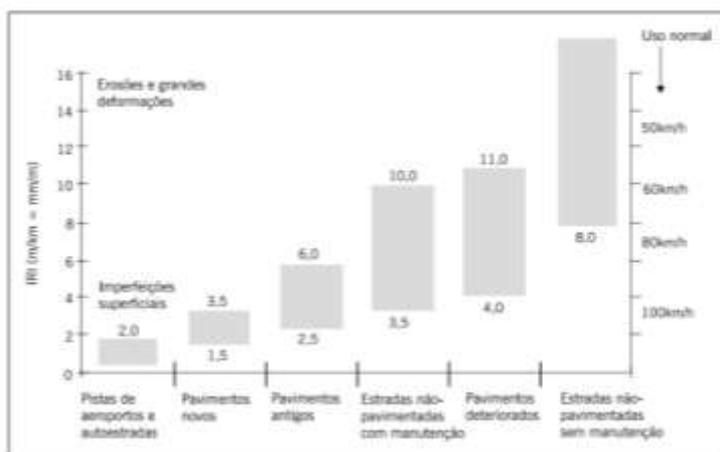


Figura 11: Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação-Fonte: Bernucci et al (2022)

O índice de irregularidade internacional pode ser usado para avaliar a condição de trafegabilidade do pavimento.

Faixa de IRI (m/km)	Condição de trafegabilidade
$IR \leq 2.0$	Ótima
$2 < IR \leq 2.7$	Boa
$2.7 < IR \leq 3.5$	Regular
$3.5 < IR \leq 5.5$	Ruim
$IR > 5.5$	Péssima

Tabela 11: Critérios de avaliação da irregularidade de um pavimento-Fonte: DNIT (2013)

O departamento nacional de infra-estruturas de transporte estabelece critérios de aceitação das obras de estradas com base no IRI conforme a tabela abaixo.

Faixa de IRI (m/km)	Condição do pavimento
$IR \leq 2.3$	Pavimentos novos com CA
$IR \leq 2.5$	Pavimentos novos com TS
$IR \leq 2.7$	Pavimentos restaurados com CA
$IR \leq 3.0$	Pavimentos restaurados com TS

Tabela 12: Critério de IRI para aceitação das obras-Fonte: DNIT (2013)

## 2.2 Ensaios e Controlo de qualidade

O controlo da qualidade é importante para o fornecimento de trabalhos que representam uma boa relação custo/qualidade para a obra. A Normalização dos procedimentos de ensaio de materiais e realização dos ensaios laboratoriais e em obra

fazem parte dos processos que asseguram a qualidade das obras na garantia de qualidade.

De acordo com ANE, IP (2015) os procedimentos dos ensaios usualmente adoptados são os seguintes:

- TMH – Especificação Sul-Africana
- Normas BS – desenvolvidas na Grã-Bretanha e adaptadas aos ambientes tropicais e subtropicais
- Normas AASHTO – Estas são as normas normalmente utilizadas a nível regional e em Moçambique

### **2.2.1. Preparação e aplicação do plano de controlo de qualidade**

Segundo a ANE, IP (2015), os ensaios exigidos são:

#### a. Para solos

- Ensaio granulométricos
- Limites de Atterberg
- Ensaio de compactação em laboratório
- Determinação de CBR

#### b. Para agregados

- Granulometria
- ACV (*Aggregate Crushing Value*)
- 10% FACT
- Absorção de água

#### c. Ensaio de betume

- Penetração
- Ponto de amolecimento
- Ensaio de Viscosidade
- Teor de betume

#### d. Ensaio de compactação em campo

- Ensaio de compactação no local através do método da garrafa de areia ou gamadensímetro

## **2.3 Ensaio laboratoriais**

Todos ensaios laboratoriais realizados nesse trabalho seguem os procedimentos da norma sul-africana TMH1, já que as recomendações do SATCC têm como base nessa mesma norma sul-africana.

## **2.3.1 Ensaio de granulometria**

### **2.3.1.1 Análise granulométrica**

Segundo Das (2007), a análise granulométrica é a determinação da faixa das partículas presentes em um solo, expresso como uma percentagem do peso total seco. Dois métodos geralmente são usados para encontrar a distribuição do tamanho das partículas do solo: ensaio de peneiramento-para tamanho de partículas maiores que 0.075mm de diâmetro e o ensaio de sedimentação - para tamanho de partículas menores que 0.075mm.

A análise granulométrica, ou seja, a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram, é representada, graficamente, pela curva granulométrica. Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico; no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as percentagens, em peso, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada. Caputo (1988)

Os procedimentos usados nos ensaios de peneiramento e sedimentação de acordo com a norma sul-africana TMH1 estão apresentados a seguir:

- **Ensaio de peneiramento**

Equipamentos:

- Um esquadrejador com abertura de 25,0mm
- Série de peneiros: Peneira de 63,0 mm, 53,0 mm, 37,5 mm, 26,5 mm, 19,0 mm, 13,2 mm, 4,75 mm, 2,0 mm e 0,425 mm, recomendado diâmetro 200 mm, com panela e tampa
- Um agitador de peneira mecânico (opcional).
- Uma balança com prato para pesar até 5 kg, com precisão de 1g.
- Bandejas circulares com diâmetros de 500mm e 350mm e quadradas com dimensões de 300mm.
- Um almofariz e pilão de ferro com ponta de borracha.
- Um forno de secagem, controlado termostaticamente e capaz de manter uma temperatura de 105 a 110°C.
- Pincéis.
- Espátula de aço

### 2.3.2 Limites de Atterberg

No início do século XX, um cientista sueco chamado Atterberg desenvolveu um método para descrever a consistência de solos com grãos finos e teor de umidade variável. Com o teor muito baixo, o solo se comporta como um sólido. Quando o teor de umidade é muito alto, solo e água podem fluir como um líquido. Portanto, arbitrariamente, dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados básicos: Sólido, semi-sólido, plástico e líquido. Das (2007)

O teor de umidade, em porcentagem, no qual a transição sólido para semi-sólido ocorre, é definido como limite de contração. O teor de umidade no ponto de transição do estado semi-sólido para o plástico e o limite de plasticidade e do estado plástico para o estado líquido é o limite de liquidez. Esses parâmetros também são conhecidos como limites de Atterberg. Das (2007)

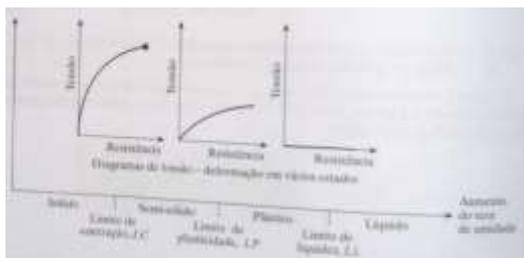


Figura 12: Limites de Atterberg- Fonte: Das (2007)

#### 2.3.2.1 Ensaio de limite de liquidez

Referência: Método A2 do TMH1

Equipamentos:

- Um dispositivo de limite de liquidez (casa grande);
- Uma ferramenta (cinzel);
- Uma placa de calibração com espessura de 100 mm
- Um prato de porcelana com diâmetro de cerca de 100 mm
- Uma espátula com lâmina ligeiramente flexível
- Uma bureta com capacidade de 50 ml ou 100 ml
- Recipientes adequados (cápsulas) com capacidade de 30 ml a 45 ml;
- Uma balança para pesar até 100 gramas com precisão de 0,01 grama.
- Um forno de secagem controlado termostaticamente e capaz de manter uma temperatura de 105 a 110°C.

O limite de liquidez é o teor de humidade necessário para fechar uma distância de 12,7mm ao longo da parte inferior do sulco após 25 golpes. Como é difícil ajustar o teor de humidade no solo para atender ao fechamento necessário de 12,7mm do sulco na amostra de solo em 25 golpes. Portanto, pelo menos três ensaios são realizados para o mesmo solo com teores de humidade diferentes e o número de golpes, N, necessários para obter o fechamento entre 15 a 35. Das (2007)

A curva de fluidez representando a relação entre o teor de humidade e o correspondente número de pancadas e, depois, desenhado com o teor de humidade na ordenada com escala natural e o número de pancadas na abcissa com escala logarítmica.

A curva de fluidez pode ser ajustada como uma linha recta que aproxima os três pontos.

O teor de humidade correspondendo a 25 pancadas é lido da curva e é tomado como limite de liquidez do solo.

O limite de liquidez também pode ser determinado através do método de um ponto, que é considerado uma derivação do método da curva de fluxo descrito anteriormente. O procedimento de ensaio é o mesmo da primeira determinação no método da curva de fluidez, excepto que o número de pancadas para fecho de canal deve ser restringido entre 22 e 28 pancadas. Após a determinação do teor de humidade, o limite de liquidez correspondente a 25 pancadas é calculado através da seguinte fórmula:

$$LL = w_N \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0,12}$$

Onde:

N= número de pancadas necessárias para fechar a ranhura no teor de humidade,  $w_N$

### **2.3.2.2 Ensaio de limite de plasticidade e o índice de plasticidade**

Limite de plasticidade: O limite de plasticidade de um solo é o teor de humidade, expresso em percentagem da massa do solo seco em estufa, na fronteira entre os estados plástico e semi-sólido. (TMH1)

Índice de plasticidade: O índice de plasticidade de um solo é a diferença numérica entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade do solo e indica a magnitude do intervalo de teor de humidade acima do qual o solo se encontra em condição plástica. (TMH1)

#### **1.1.1.1.1. Ensaio do limite de plasticidade**

Equipamentos:

- Uma placa de vidro fosco com 150 mmx220 mm
- Recipientes adequados, tais como frascos de pesagem com capacidade de 30 ml a 45 ml, ou vidros de relógio correspondentes que evitem a perda de humidade durante a pesagem
- Balança para pesar até 100 gramas, com uma precisão de 0,01 gramas.

Procedimento de realização do ensaio:

- Aproximadamente 2 a 3 gramas do solo húmido reservado para a determinação do limite de líquido são amassados em uma forma elipsoidal, entre as palmas das duas mãos ou quando se trata de solos pouco coesos ou sem coesão, entre o dedo de uma mão e a palma da outra, de modo a reduzir a pressão sobre a amostra até que o esfrelamento do solo impeça a formação de um fio de 3 mm de diâmetro.
- O operador deve garantir que o fio não se rompa ou se esfarele pela aplicação de pressão excessiva, mas que se esfarele por falta de plasticidade.
- que a média das duas determinações é tomada como limite plástico.

O limite de plasticidade é o teor de humidade na qual o solo se esfarela.

#### **1.1.1.1.2. Índice de plasticidade**

O índice de plasticidade é obtido subtraindo o limite de plasticidade ao limite de liquidez.

$$IP = LL - LP$$

### **2.3.3 Ensaio de compactação**

Em geral, a compactação é a densificação do solo por meio de remoção do ar, o que requer a aplicação de energia mecânica. O grau de compactação do solo é medido com base em seu peso específico seco. Ao ser adicionada ao solo durante a compactação, a água actua como um agente amolecedor das partículas do solo, que deslizam uma as outras e se posicionam em uma formação compacta de alta densidade. Das (2007)

Os principais ensaios laboratoriais de compactação são o ensaio de proctor (dinâmica), o ensaio de compactação de Harvard (estática) e o ensaio de compactação por Vibração. Silva (2016)

Objectivos do ensaio: determinar a correlação entre a densidade seca máxima e o teor de humidade óptimo quando preparado e compactado em diferentes teores de humidade.

Equipamentos:

- Um molde de 152,4 mm de diâmetro, 152,4 ± 1 mm de altura, com colar, placa de base;
- Um pilão compactador de 4,536 kg;
- Uma régua de aço, com cerca de 300 mm de comprimento.
- Um esquartelador.
- Uma balança com capacidade até 15 kg, com precisão de 5 gramas.
- Uma balança com capacidade até 2 kg, com precisão de 0,1 grama.
- Peneiras: 19,0 mm e 4,75 mm que cumprem a norma SABS 197. E bacias com aproximadamente 350 mm e de 500mm de diâmetro.
- Uma espátula de jardim.
- Cápsulas com capacidade até 1.000 gramas;
- Um forno de secagem
- Provetas medidoras com capacidade de 1000 ml e 500 ml.
- Papel de filtro, cartuchos de 150 mm.
- Um almofariz e um pilão de ferro e um pilão com ponta de borracha.
- Um spray de água ou aspersor.

Na compactação do solo existem várias energias abaixo determinadas:

Compactação	Pancadas	Camadas	Molde	Pilão
Modificada	55	5	Grande	Grande
Intermédia	25	5	Grande	Grande
Normal	55	3	Grande	Pequeno

Tabela 13: Tipos de compactação de acordo com energias de compactação-Fonte: TMH (1986)

### 2.3.4 Ensaio do índice de suporte de Califórnia (CBR)

Este ensaio, de grande valor na técnica rodoviária, é a base do conhecido método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, introduzido por Porter, em 1929 e, ainda hoje, prestigiado. Caputo (1988)

O Índice de suporte de Califórnia, ou em inglês, *California Bearing Ratio* (CBR) de um material é a carga em Newtons, expressa como uma percentagem dos valores padrão da Califórnia, necessária para permitir um pistão circular de 1.935 mm penetrar na superfície de um material compactado a uma taxa de 1,27mm por minuto até profundidades de 2,54, 5,08 e 7,62 mm. Os valores padrões da Califórnia para estas profundidades são 13.344, 20.016 e 25.354 kN, respectivamente. TMH1 (1986)

Equipamentos:

- Moldes de  $152,4 \pm 0,5$  mm de diâmetro e  $152,4 \pm 1$  mm de altura, e placas de base de imersão perfuradas;
- Placa de base, colarinho e disco espaçador de 25,4
- Um compactador de 4,536 kg e de 2,495 kg
- Peso adicional circular de 4,536 kg para uso durante a imersão;
- Um peso adicional circular de 5,56 kg para uso durante a penetração;
- Uma régua de aço, o e uma borda.
- Uma máquina de ensaio de compressão (prensa)
- Uma balança com capacidade de 15 kg, e uma com 2kg;
- Cápsulas podendo conter cerca de 1.000g;
- Estufa com capacidade de manter temperatura entre 105 a 110°C.
- Provetas medidoras com capacidade de 1000ml e 500 ml.
- Papel de filtro, cartuchos de 150 mm.
- Placas perfuradas de 1.024 kg com hastes ajustáveis.
- Um banho de mistura de ferro galvanizado, com cerca de 450 mm x 650 mm x 200 mm de profundidade.
- Massa lubrificante

São compactados os três moldes com os seguintes números de pancadas, camadas e o pilão:

Compactação	Energia de compactação	Pancadas	Camadas	Molde	Pilão
Modificada	100%	55	5	Grande	Grande
Intermédia	95%	25	5	Grande	Grande
Normal	90%	55	3	Grande	Pequeno

Tabela 14: Tipos de compactação de acordo com energias de compactação-Fonte: TMH (1986)

### 2.3.5 Avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos (10% Fact)

A resistência mecânica do agregado ao esmagamento pelo método de 10% dos finos (10% FACT) é determinado medindo a carga necessária para esmagar uma amostra agregada preparada para fornecer 10% de material que passa por um peneiro específico após a britagem. O valor de 10% FACT é a força em kN necessária para esmagar uma amostra de agregado passado no peneiro 13,2mm e retido no peneiro 9,5mm, de modo a que 10 por cento da amostra total de ensaio passe por um peneiro de 2,36mm. TMH1 (1986)

Equipamentos:

- Um cilindro de aço aberto de 150 mm de diâmetro nominal com êmbolo e placa de base
- Uma vareta de metal com 16 mm de diâmetro e 450 mm a 600 mm de comprimento.
- Balança para pesar até 3 kg
- Peneiras com abertura de malha: 13,2 mm, 9,50 mm e 2,36 mm.
- Uma prensa com capacidade de aplicar uma carga de 400 kN.
- Um molde cilíndrico com um diâmetro interno de 115 mm e 180 mm de profundidade.

O teste descrito acima é o teste padrão, mas se o agregado disponível não contiver uma quantidade suficiente da fracção padrão, pode ser feito um teste não padrão utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente em material em qualquer uma das gamas de tamanho fornecida abaixo.

Tamanho do peneiro em mm		
Para preparação da amostra de ensaio		Para separação dos finos após britagem
Passado	Retido	
26,5	19,0	4,75
19,0	13,2	3,35
9,5	6,7	1,70
6,7	4,75	1,18

Tabela 15: Tabela dos tamanhos dos peneiros para separação dos finos-Fonte: TMH (1986)

### 2.3.6 Índice de lamelação

O Índice de lamelação de um agregado é a massa de partículas desse agregado, expressa como uma percentagem da massa total desse agregado, que passará pela fenda ou fendas de largura especificada para a fracção de tamanho apropriada, conforme dado na tabela abaixo. A largura das fendas é metade da largura das aberturas do crivo por onde passa cada uma das fracções. TMH1 (1986)

Equipamentos:

Um medidor (de qualquer formato adequado) de metal com 1,6 mm de espessura e com uma ranhura para cada tamanho de fracção a ensaiar. As ranhuras devem ter uma forma rectangular e as suas dimensões devem estar em conformidade com os valores relevantes indicados nas colunas 3 e 4 da Tabela. Em alternativa, pode ser utilizada uma máquina de descamação.

1	2	3	4	5
Tamanho da fracção a medir (tamanhos de peneira) em mm.		Comprimento mínimo da ranhura	Largura da ranhura	Massa aproximada da amostra que passam dos peneiros da coluna 1
Passado	Retido	Milímetros	Milímetros	Quilogramas
75,0	63,0	150,0	37,50	5,0
63,0	53,0	126,0	31,50	5,0
53,0	37,5	106,0	26,50	5,0
37,5	26,5	75,0	18,75	5,0
26,5	19,0	53,0	13,25	4,0
19,0	13,2	38,0	9,50	3,5
13,2	9,5	26,4	6,60	2,0
9,5	6,7	19,0	4,75	1,0
6,7	4,75	13,4	3,35	0,5

Tabela 16: Dimensões das ranhuras e massas das amostras para índice de lamelação-Fonte: TMH (1986)

$$\text{Índice de lamelacao} = \frac{\text{Massa total da amostra passada nas ranhuras}}{\text{Massa total da amostra}} \times 100$$

## **2.4 Classificação dos solos**

Solos diferentes com propriedades similares podem ser classificados em grupos e subgrupos de acordo com seu comportamento do ponto de vista da engenharia. Os sistemas de classificação fornecem uma linguagem comum para se expressar concisamente, sem descrições detalhadas, as características gerais dos solos, que são infinitamente variadas. Hoje há dois sistemas que normalmente são utilizados pelos engenheiros de solos. Ambos os sistemas levam em consideração a distribuição granulométrica e os limites de Atterberg. Eles são sistemas de classificação da AASHTO e SUCS. O AASHTO é utilizado na maioria dos casos nos EUA. Os engenheiros geotécnicos geralmente preferem a SUCS. Das (2007)

### **2.4.1 Sistema de classificação da AASHTO**

Segundo DAS (2007), a classificação da AASHTO em uso é dada na tabela a seguir. De acordo com esse sistema, o solo é classificado em sete grupos, de A-1 até A-7. Os solos classificados sob os grupos A-1, A-2 e A-3 são granulares dos quais 35% das partículas, ou menos, passam pela peneira número 200. Os solos com mais de 35% passando pelo peneiro número 200 são classificados como sob os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Esses solos são na maioria dos casos, silte e materiais do tipo argila. Esse sistema de classificação tem como base o seguinte critério:

- a. Tamanho dos grãos
  - Pedregulho: fracção que passa na peneira de 75mm e retida na peneira de 2mm (Nº 10).
  - Areia: fracção que passa na peneira de 2mm e retida na peneira de 0.075mm
  - Silte e argila: fracção que passa na peneira de 0.075mm
- b. Plasticidade: o termo siltoso é aplicado quando as fracções finas do solo têm um índice de plasticidade de 10 ou menos. O termo argiloso é aplicado quando as fracções finas têm um índice de plasticidade de 11 ou mais.
- c. Se seixos e pedras ( $d > 75\text{mm}$ ) forem encontrados, eles serão excluídos da parte da amostra de solo a partir da qual a classificação é realizada. Entretanto, a percentagem de tal material é registrada.

Classificação geral	Materiais granulares (35% ou menos da amostra total passa na N°200)						
	A-1		A-3	A-2			
Classificação do grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
P <sub>10</sub>	50 máx.						
P <sub>40</sub>	30 máx.	50 máx.	51 min				
P <sub>200</sub>	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35max	35max	35max	35max
LL				40max	41min	40max	41min
IP	6max		NP	10max	10max	11min	11min
Tipos usuais de materiais constituintes significativos	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulho e areias siltosas ou argilosas			
Qualidade geral como subleito	Excelente a boa						
	Materiais argilo-siltosos (mais de 35% da amostra total passa na N°200)						
Classificação do grupo	A-4		A-5		A-6		A-7 A-7-5 <sup>a</sup> A-7-6 <sup>b</sup>
P <sub>10</sub>							
P <sub>40</sub>							
P <sub>200</sub>	36min		36min		36min		36min
LL	40max		41min		40max		41min
IP	10max		10max		11min		11min
Tipos usuais de materiais constituintes significativos	Solos siltosos				Solos argilosos		
Qualidade geral como subleito	Satisfatória a deficiente						

Tabela 17: Classificação dos materiais do subleito-Fonte: Das (2007)

<sup>a</sup>- Para A-7-5,  $IP \leq LL - 30$

<sup>b</sup>- Para A-7-6,  $IP > LL - 30$

O autor ainda acrescenta que para se avaliar um solo como material de subleito de rodovia, deve-se também incorporar o índice de grupo (IG) com os grupos e subgrupos do solo. Esse índice é escrito entre parêntesis após a designação do grupo e subgrupo. Calcula-se pela equação:

$$IG = (P_{200} - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(P_{200} - 15)(IP - 10)$$

Regras para a determinação do índice de grupo

- a. É igual a zero se o valor da equação for negativo
- b. O valor é arredondado
- c. Não há limite superior para índice de grupo
- d. O índice de grupo para os grupos A-1, A-2 e A-3 é sempre zero, excepto para A-2-5 e A-2-7
- e. Ao se calcular o IG para solos dos grupos A-2-6 e A-2-7, usa-se a seguinte equação:

$$IG = 0,01(P_{200} - 15)(IP - 10)$$

Em geral, a qualidade do desempenho de um solo como material de subleito é inversamente proporcional ao índice de grupo.

#### **2.4.2 Sistema unificado de classificação de solos**

A forma original de desse sistema foi proposta por Casagrande em 1942 para uso nos trabalhos de construção de aeroportos sob responsabilidade do *Army Corps of Engineers* durante a segunda guerra mundial. Actualmente é utilizado amplamente por engenheiros. Esse sistema de classificação é apresentado na tabela 17.

Esse sistema classifica os solos em duas amplas categorias:

- Solos grossos: são pedregulhos e areias e menos de 50% passa pelo peneiro N°200. Os símbolos são G ou S. S representa pedregulho e G representa areia.
- Solos finos: 50% de solos ou mais passa da peneira N°200. Os símbolos são M, que representa silte inorgânico; C, que representa argila inorgânica ou O, que representa siltes e argilas orgânicas. O símbolo Pt representa turfa, terra preta e solos altamente orgânicos.

Os outros símbolos utilizados na classificação são

W–Bem-graduado

P–Mal graduado

L–Baixa plasticidade

H–Alta plasticidade

Para a classificação mais adequada de acordo com este sistema, algumas ou todas as seguintes informações devem ser conhecidas.

- Pedregulho: fracção que passa pelo peneiro 76.2mm e retida no peneiro N° 4 (4.75mm)
- Areia: fracção que passa pelo peneiro N° 4 e retida no peneiro N° 200 (0.075mm)
- Silte e argila: fracção que passa pelo peneiro N° 200
- Coefficiente de uniformidade ( $C_u$ ) e de curvatura ( $C_c$ )
- Limite de liquidez e índice de plasticidade

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Critérios para a atribuição dos símbolos				Símbolo de grupo
Solos grossos (menos de 50% passa pelo peneiro N°200)	Pedregulhos (passada pelo peneiro 76.2mm e retida no peneiro N° 4)	Pedregulhos puros	$C_u \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% grãos finos	$C_u < 4$ e/ou $1 > C_c > 3^c$	GP
		Pedregulhos com finos	$IP < 4$ ou abaixo da linha A	GM
		Mais de 12% de grãos finos	$IP > 7$ ou acima da linha A	GC
	Areias (passada pelo peneiro N° 4 e retida no peneiro N° 200)	Areias puras	$C_u \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Menos de 5% grãos finos	$C_u < 6$ e/ou $1 > C_c > 3^c$	SP
		Areias com finos	$IP < 4$ ou abaixo da linha A	SM
		Mais de 12% de grãos finos	$IP > 7$ na ou acima da linha A	SC
Solos finos (50% de solos ou mais passa da peneira N°200)	Siltos e argilas (LL $\geq$ 50)	Inorgânico	$IP < 7$ ou acima da linha A	CL
			$IP < 4$ ou abaixo da linha A	ML
		Orgânico	$\frac{LL - \text{seco em estufa}}{LL - \text{nao seco}} < 0.75$	OL
	Siltos e argilas (LL<50)	Inorgânico	$IP < 7$ na ou acima da linha A	CH
			$IP < 4$ abaixo da linha A	MH
		Orgânicos	$\frac{LL - \text{seco em estufa}}{LL - \text{nao seco}} < 0.75$	OH
Solos altamente orgânicos				Pt

Tabela 18: Sistema Unificado de classificação dos solos–Fonte: Das (2007)

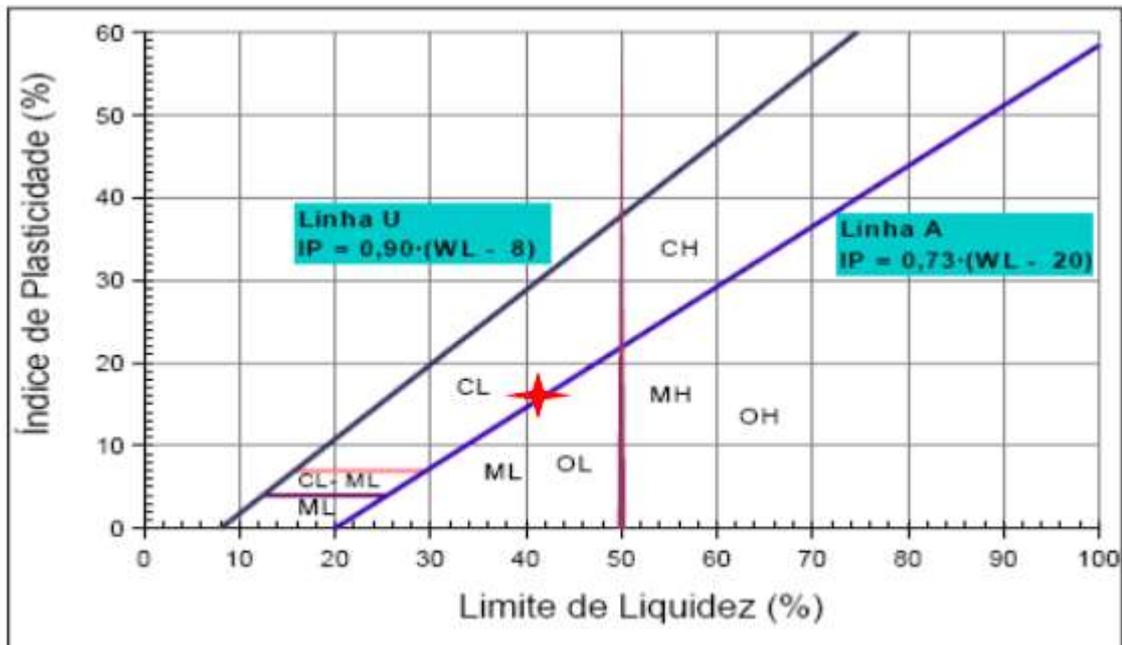


Figura 13: Gráfico de plasticidade- Fonte: Das (2007)

### 3 APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DO ESTÁGIO



Figura 14: Logotipo da ANE

#### 3.1 Administração nacional de estradas-ANE

A Administração Nacional de Estradas, IP, abreviadamente designado por ANE, IP é um instituto público com poderes gerais de autoridade de estradas em todo território nacional, dotado de personalidade jurídica e autonomia administrativa.

A ANE é tutelada sectorialmente pelo ministro que superintende a área de estradas e financeiramente, pelo ministro que superintende a área de finanças.

A ANE, IP tem a sua sede na cidade de Maputo.

O estágio foi realizado na ANE, IP-Delegação provincial de Manica.

##### 3.1.1 Atribuições e competências

A administração nacional de estradas é uma instituição pública, criada pelo decreto número 15/99, de 27 de Abril com objectivo de assegurar a implementação das políticas do governo sobre a conservação e desenvolvimento de estradas públicas.

##### 3.1.2 Visão

A ANE, IP, tem como visão ter uma rede de estradas de boa qualidade e segura, com alto nível de satisfação dos utentes, tornando-se uma referência na África Austral.

##### 3.1.3 Missão

A ANE, IP, tem como missão garantir a ligação e circulação rodoviária de pessoas, bens e serviços de forma segura, económica e sustentável contribuindo para o desenvolvimento económico, social e cultural.

##### 3.1.4 Princípios e valores

- Ética
- Foco em resultados;
- Responsabilidade social, económica e ambiental;
- Transparência;
- Valorização do pessoal;

- Inovação;
- Espírito de equipa;
- Compromisso;
- Honestidade;
- Dinamismo;
- Cordialidade;
- Pluralismo.

### 3.1.5 Organograma da ANE, IP

A figura abaixo ilustra a estrutura organizacional da ANE, IP

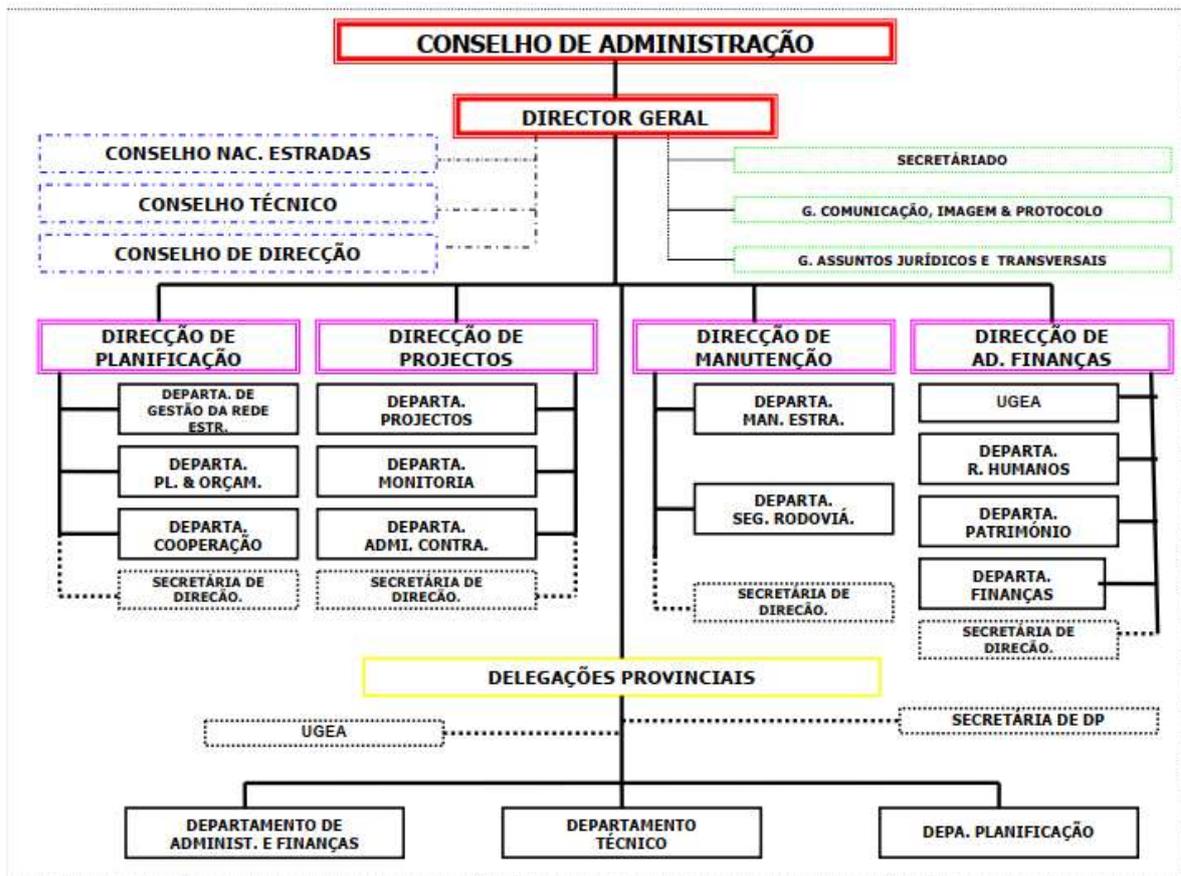


Tabela 19: Organograma da ANE-Fonte: ANE, IP

### 3.1.6 Sector do estágio

O estágio profissional foi realizado no departamento técnico, que tem as seguintes funções:

- Coordenar os processos de execução de projectos de construção, manutenção e reabilitação de estradas;
- Recolher e processar dados estatísticos sobre os níveis de execução de projectos de estradas e pontes;
- Elaborar os projectos e as respectivas estimativas de custo;
- Assegurar a adopção e observância de padrões e normas técnicas nos processos de execução dos projectos;
- Supervisionar as actividades dos empreiteiros e dos fiscais;
- Assessorar os órgãos de Governação Descentralizada e Autarquias em questões técnicas relacionadas com o desenvolvimento e implementação de projectos;
- Identificar necessidades de pesquisas a serem executadas;
- Coordenar com os órgãos de Governação Descentralizada e Autarquias na elaboração de projectos locais e prestar a assessoria técnica que lhe for solicitada;
- Participar no processo de actualização das normas, desenhos e documentos de concurso;
- Realizar outras actividades que lhe forem atribuídas pelo Delegado.
- O Departamento Técnico é dirigido por um Chefe de Departamento, nomeado pelo Director-Geral.

## **4 CASO DE ESTUDO**

### **4.1 Descrição da estrada N260**

A Estrada Nacional N260, localiza-se na província de Manica e estabelece a ligação rodoviária entre a cidade de Chimoio e a vila fronteiriça de Espungabera no distrito de Mussorize, numa extensão de cerca de 228 km. O pavimento é composto por duas camadas de sub-base e base estabilizadas mecanicamente, em agregado britado misturado com uma percentagem de solo laterítico e com espessuras de 150 mm e 120 mm, respectivamente. Sobre esta estrutura granular foi executado um revestimento superficial betuminoso duplo com 19 mm de espessura total. O revestimento duplo é constituído por agregados com diâmetros nominais de 19.0mm e 9.5mm.

A asfaltagem desta estrada foi considerada como sendo o insuflar de um verdadeiro “balão de oxigénio” para o desenvolvimento do chamado “corredor de Mussurize” , ao longo do qual se erguem imponentes recursos naturais, nomeadamente solos aráveis e imensos recursos agrícolas, florestais, hídricos, faunísticos, turísticos, minerais e pecuários, destacando-se a reserva transfronteiriça de Chimanimani.

A estrada N260 constitui o principal eixo rodoviário que liga entre si a cidade de Chimoio, a sede distrital de Sussundenga, o Posto Administrativo de Dombe e a vila fronteiriça de Espungabera, sede distrital de Mossurize, limítrofe com o distrito zimbabueano de Chipingue, regiões estratégicas na produção agro-pecuária, mineira e turística.

Com um intenso tráfego rodoviário, circulando nela centenas de viaturas diariamente, a estrada em referência constitui o principal corredor rodoviário cuja asfaltagem constitui também uma plataforma eficaz para o escoamento da produção agrícola e transporte de pessoas e bens e para o desenvolvimento económico e social daquela região.

A estrada possui duas vias de circulação de 3.2 m de largura em cada sentido, berma pavimentada de com 1.0 m e acrescida com 0.5 m não pavimentada, perfazendo o total de 9.4m de largura. A estrada estende-se do cruzamento da mesma com a estrada N6 até a fronteira de Espungabera.

A estrada N260 foi construída pela empresa Mota-Engil SGPS, SA e inaugurada em 2015 pelo presidente da república Felipe Jacinto Nyusi.



Figura 15: Localização da estrada-Fonte: Google Earth Pro



Figura 16: Localização da estrada N260-Fonte: ANE, IP

## 4.2 Composição da equipa de trabalho

Dono da obra: ANE, IP-Delegação provincial de Manica

Fiscalização: Stange Consult Moçambique, Ltda.

Empreiteiro: Adams Construções

## 4.3 Localização do estaleiro da obra

O estaleiro localiza-se na cidade de Chimoio do bairro de Hombwa nas coordenadas - 19.161856,33.413963.



Figura 17: Localização do estaleiro–Fonte: Google Earth Pro

#### 4.4 Descrição do projecto

O projecto consiste na manutenção de rotina, onde tapa-se os buracos e a reconstrução de alguns troços da estrada, que englobam a reciclagem da base e a sua estabilização do cimento e a colocação do novo revestimento. Os troços que foram realizados os trabalhos de reconstrução são o que apresentavam defeitos graves e que o tapamento de buracos e selagem de fissuras não seriam técnica e económica e estruturalmente viáveis, uma vez que os defeitos eram estruturais, e não superficiais.

O projecto de manutenção dessa estrada inicia no cruzamento entre a estrada N260 e a estrada N6 até a localidade de Zembe, no distrito de Sussundenga, província de Manica. A manutenção de rotina, que trata-se de tapamento de buracos, realiza-se ao longo de todo comprimento acima mencionado enquanto a reconstrução, realiza-se em sete troços.

Os troços afectados pela reconstrução são os seguintes:

- O Primeiro troço localiza-se no Km 5+900 e tem cerca de 280m de comprimento
- O Segundo troço localiza-se no Km 6+700 e tem cerca de 260m de comprimento e é nesse quilómetro onde se localiza o estaleiro da obra.
- O Terceiro troço localiza-se no Km 7+800 e tem cerca de 600m de comprimento é o troço mais longo.
- O Quarto troço localiza-se no Km 9+500 e tem cerca de 400m de comprimento.
- O Quinto troço localiza-se no Km 12+900 e tem cerca de 100m de comprimento.
- E outros dois troços em frente desse último.



Figura 18: quarto trecho e o desvio provisório- Fonte: Adaptado pelo autor

#### 4.5 Patologias da estrada N260

As patologias encontradas no pavimento da estrada N260 são os seguintes:

- Fendilhamento (fendas longitudinais, transversais, em bloco e do tipo pele de crocodilo)
- Buracos e remendos
- Colapso dos bordos e bermas
- Rodeiras
- Deformação (excluindo as rodeiras)
- Exsudação
- Descascamento
- Peladas.

#### Fendas longitudinais



Figura 19: Fendas longitudinais- Fonte: Adaptado pelo autor

### **Fendas transversais**



Figura 20: Fendas transversais- Fonte: Adaptado pelo autor

### **Fendas em bloco**



Figura 22: Fendas em bloco- Fonte: Adaptado pelo autor

### **Fendas do tipo pele de crocodilo**



Figura 23: Fendas do tipo pele crocodilo- Fonte: Adaptado pelo autor



Figura 24: Fendas do tipo pele de crocodilo- Fonte: Adaptado pelo autor

### **Buracos**



Figura 25: Buracos- Fonte: Adaptado pelo autor



Figura 26: Buracos- Fonte: Adaptado pelo autor

## Remendos



Figura 27: Remendo- Fonte: Adaptado pelo autor

## Colapso dos bordos e bermas



Figura 28: Colapso dos bordos- Fonte: Adaptado pelo autor

## Rodeiras e escorregamentos de massa



Figura 29: Rodeiras- Fonte: Adaptado pelo autor



Figura 30: Rodeiras- Fonte: Adaptado pelo autor

### **Deformações**



Figura 31: Deformações- Fonte: Adaptado pelo autor

### **Exsudação**



Figura 32: Exsudação-Fonte: Adaptado pelo autor

As patologias mais encontradas na estrada N260 são deformações, rodeiras e buracos. As menos encontradas são fendas longitudinais e a exsudação

## 4.6 Soluções adoptadas

As soluções adoptadas são, tapamento de buracos e reciclagem da base e a colocação do novo revestimento.

### 4.6.1 Tapamento de buracos

Estas actividades estão referenciadas no código 860 da série 800 nas normas de execução da ANE, IP (2015). Nessa serie ainda está incluída a dosagem de massas frias assim como as massas quentes.

Seguem-se os seguintes passos:

- Marcação das áreas danificadas;
- Corte e remoção de todo o material danificado e a limpeza e compactação do fundo do buraco;
- Aplicação da rega de colagem, no caso de defeitos superficiais apenas ou aplicação de rega de impregnação, no caso de a reparação incluir a reparação da camada de base ou da camada de fundação;
- Colocação da mistura e a respectiva compactação com compactador manual



Figura 33: Operações de corte (A) e limpeza da área cortada—Fonte: A—ANE (2015), B e C—Adaptado pelo autor

#### a. Misturas asfálticas a frio

Composição:

- 4 Carinhas de pó de pedra (0.2m<sup>3</sup>)
- 4 Carinhas de brita (0.2m<sup>3</sup>)
- 5 Baldes de emulsão asfáltica (40l)



Figura 34: Preparação da mistura da massa fria- Fonte: Adaptado pelo autor

### **b. Misturas asfálticas a quente**

Composição:

1.5 Carrinhas de pó de pedra ( $0.075\text{m}^3$ )

2 Carrinhas de brita ( $0.1\text{m}^3$ )

2 Baldes de betume (16l)



Figura 35: A-Aquecimento do betume; B-Aquecimento dos agregados e C-mistura da massa quente-Fonte: Adaptado pelo autor

Depois de preparar a mistura, já no campo, primeiramente aplica-se o ligante hidráulico que pode ser:

- Impregnação betuminosa (MC30), aplicado numa taxa de  $1,0\text{ l/m}^2$  ou
- Rega de colagem (SS60 diluído com água a 50/50 e deve ser aplicada numa proporção de  $0,6\text{ l/m}^2$ .

Após a aplicação do ligante hidráulico faz-se a colocação da mistura nos buracos.



Figura 36: Colocação da massa betuminosa, compactação e o aspecto final–Fonte: Adaptado pelo autor

#### 4.1.1. Execução do revestimento superficial duplo

Equipamentos:



Figura 37: Equipamentos A–Camião espargidor; B–Espalhadeira–Fonte: Adaptado pelo autor



Figura 38: Equipamentos: A–Compactador pneumático; B–Camião basculante–Fonte: Adaptado pelo autor

Depois de se ter concluído os processos de execução da base e doutras camadas inferiores, seguem–se os seguintes passos:

- Aplicação da rega de impregnação da base



Figura 39: Aspecto final da base após a impregnação com MC30–Fonte: Adaptado pelo autor

- Limpeza da base para a aplicação do ligante para a primeira camada



Figura 40: Limpeza e marcação do eixo-Fonte: Adaptado pelo autor

- Aplicação do ligante para a primeira camada do tratamento superficial duplo



Figura 41: Aplicação do ligante na superfície imprimada- Fonte: Adaptado pelo autor

- Aplicação da primeira camada do agregado com a espalhadeira, neste caso, brita de tamanho nominal 19.00mm.



Figura 42: Espalhamento do agregado-Fonte: Adaptado pelo autor

- Compactação dos agregados através do compactador pneumático



Figura 43: Compactação dos agregados-Fonte: adaptado pelo autor



Figura 44: Aspecto final após a conclusão da primeira camada do TSD-Fonte: Adaptado pelo autor

- Limpeza da superfície da primeira camada para a execução da segunda camada do TSD

- Aplicação do ligante para a segunda camada e o espalhamento da segunda camada da brita, neste caso, brita de tamanho nominal de 9.50mm



Figura 45: Aplicação do ligante e o espalhamento da segunda camada do agregado-Fonte: adaptado pelo autor



Figura 46: Compactação e o aspecto final do pavimento-Fonte: Adaptado pelo autor

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Solo do subleito

#### 5.1.1 Análise granulométrica

Massa total da amostra=2363.4g

Massa total da amostra após a lavagem=2009.4g

Fracção lavada=354.0g

Abertura do Peneiro	Massa retida(g)	% Retida	% Retida acum.	% Passada acum.
Mm				
63.0			0.00	100.00
53.0			0.00	100.00
37.5			0.00	100.00
26.5	0.00		0.00	100.00
19.0	0.00		0.00	100.00
13.2	41.60	1.79	1.79	98.21
9.5	197.00	8.48	10.27	89.73
6.7	217.90	9.38	19.65	80.35
4.75	180.70	7.78	27.43	72.57
2.000	286.40	12.33	39.77	60.23
1.180	152.30	6.56	46.32	53.68
0.600	292.30	12.59	58.91	41.09
0.425	160.60	6.91	65.82	34.18
0.300	134.80	5.80	71.63	28.37
0.150	177.10	7.63	79.25	20.75
0.075	95.10	4.09	83.35	16.65
>0,075 (P1+P2)	386.80	16.65	100.00	0.00
Base (P2)	32.80			
TOTAL	2322.60			

Tabela 20: Análise granulométrica do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor

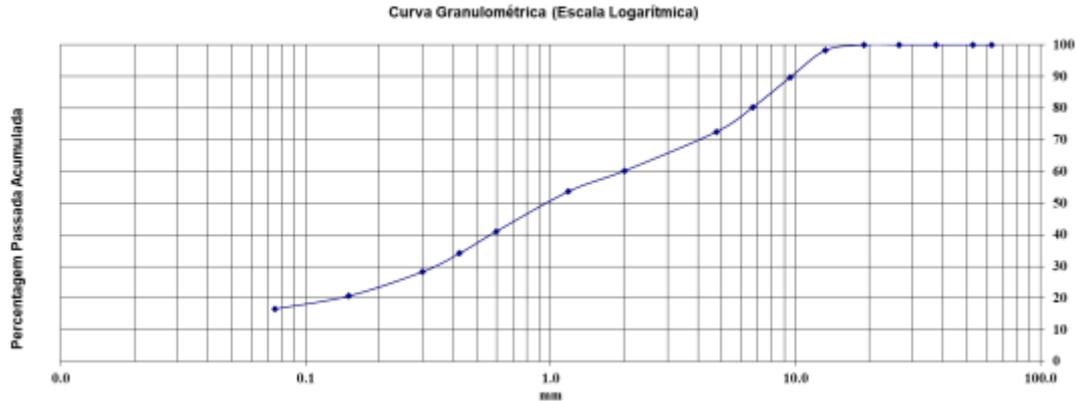


Figura 47: Gráfico da distribuição granulométrica do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor

### 5.1.2 Ensaio de limites de Atterberg

	Limite de Liquidez			Limite de Plasticidade	
	64C	7C	15C	62C	63C
Cápsula N°					
Peso da Cápsula + Amostra Húmida (m1)	40.30	34.80	38.90	24.70	26.40
Peso da Cápsula + Amostra Seca (m2)	35.10	30.80	34.30	23.40	24.80
Peso da Cápsula (m3)	15.80	14.90	14.40	14.60	14.50
Peso da Água (m4=m1-m2)	5.20	4.00	4.60	1.30	1.60
Peso Amostra Seca (m5=m2-m3)	19.30	15.90	19.90	8.80	10.30
Teor em Água (m4/m5x100)	26.94	25.16	23.12	14.77	15.53
Número de Golpes	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>35</b>	15.15	

Tabela 21: Resultados dos ensaios de limite de liquidez e de plasticidade- Fonte: Adaptado pelo autor

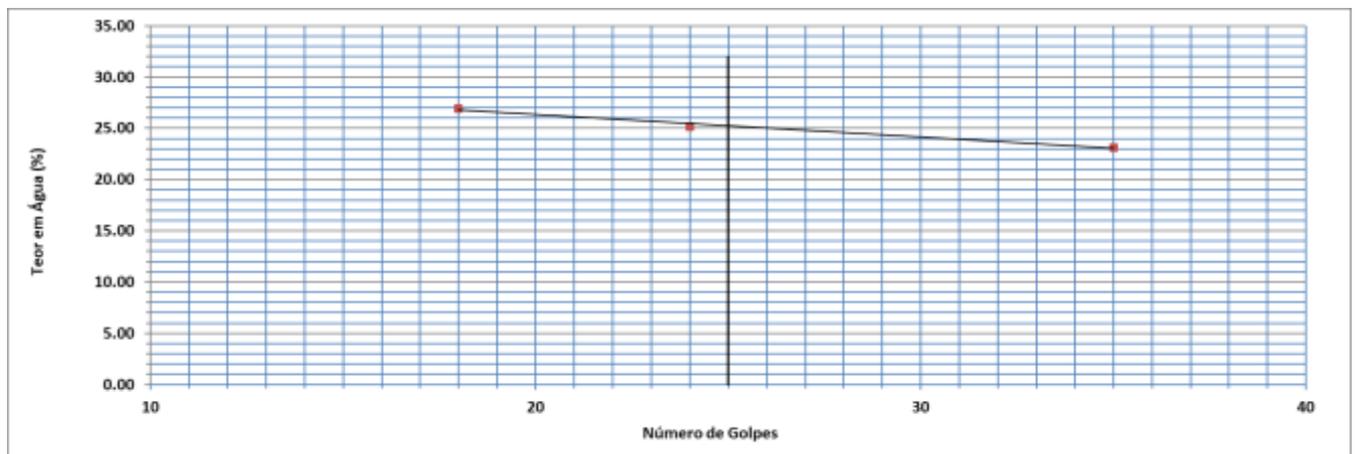


Figura 48: Curva de fluidez da amostra do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor

Através dos resultados da tabela e do gráfico acima, pode-se extrair os resultados de limite de liquidez e de plasticidade e posteriormente, determinar o valor de índice de plasticidade.

LL=25%

LP=15%

IP=LL-LP=25%-15%=10%

### 5.1.3 Ensaio de compactação

Compactação	% De água acrescentada	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
	Massa do solo seca ao ar	6059.0	6154.0	6312.0	6086.0	6247.0
	Volume de água acrescentada (ml)	242.36	369.24	504.96	608.6	749.64
	Molde N.º	C	C	C	C	C
	Volume do molde (ml)	2304	2304	2304	2304	2304
	Factor do molde	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40
	Massa do molde + solo húmido (g)	9377	9906	9946	9882	9632
	Massa do molde (g)	4552	4552	4552	4552	4552
	Massa do solo Húmido (g)	4825	5354	5394	5330	5080
	Densidade húmida (kg/m <sup>3</sup> )	2094.2	2323.8	2341.1	2313.4	2204.9
	Densidade seca (aproximada) (kg/m <sup>3</sup> )	2013.6	2192.2	2167.7	2103.1	1968.6
Teor em Água	Cápsula Nº	6	X4	C2	5D	3
	Peso da Cápsula + Amostra Húmida (g)	756.40	736.90	728.80	778.20	732.10
	Peso da Cápsula + Amostra Seca (g)	726.10	696.20	679.40	718.80	667.30
	Peso da Cápsula (g)	225.40	233.20	233.80	235.40	214.80
	Peso da Água (g)	30.30	40.70	49.40	59.40	64.80
	Peso da Amostra Seca (g)	500.70	463.00	445.60	483.40	452.50

Teor de humidade (%)	6.1	8.8	11.1	12.3	14.3
b) <u>Densidade Seca</u> (kg/m <sup>3</sup> )	1974.7	2136.0	2107.5	2060.2	1928.7

Tabela 22: Resultados do ensaio de compactação- Fonte: Adaptado pelo autor

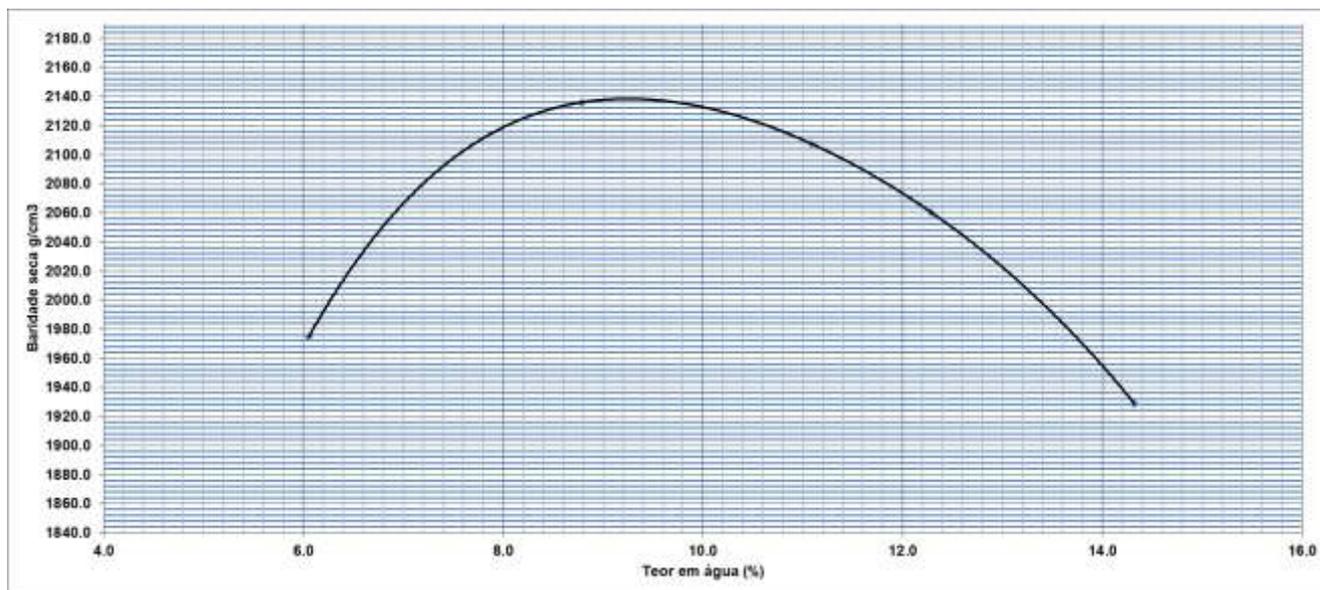


Figura 49: Curva de compactação do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico, lê-se os valores do teor óptimo de humidade e a densidade seca máxima.

$$\rho_{dmax}=2139.5\text{Kg/m}^3$$

$$w_{opt}=9.3\%$$

O ensaio de CBR tem em conta o teor óptimo de humidade.

#### 5.1.4 Ensaio de CBR

Peso do material seco ao ar=18252g

Peso da amostra seca=17807g

Densidade seca máxima=2139.5Kg/m<sup>3</sup>

Teor óptimo de humidade: 9.3%

### Teor de humidade natural

Teor de humidade natural	
Nº da Cápsula/Molde	C2
Peso do Solo Húmido+Cápsula (g)	735.4
Peso do Solo Seco + Cápsula (g)	723.3
Peso da Cápsula (g)	233.8
Peso da Água (g)	12.1
Peso do Solo Seco (g)	489.5
Teor de Humidade (%)	2.5

Tabela 23: Teor de humidade natural do solo do subleito- Fonte: Adaptado pelo autor

### Teor de água a acrescentar

$$w = 9.3 - 2.5 = 6.8\% \rightarrow 1214ml$$

### Teor em água de moldagem

Nº da Cápsula/Molde	1B
Peso do Solo Húmido+Cápsula (g)	963.90
Peso do Solo Seco + Cápsula (g)	906.10
Peso da Cápsula (g)	253.80
Peso da Água (g)	57.80
Peso do Solo Seco (g)	652.30
Teor de Humidade (%)	8.9

Tabela 24: Teor de água de moldagem- Fonte: Adaptado pelo autor

A diferença dos teores óptimo e de moldagem e de  $9.3-8.9=+0.4\%$  que se desvia um pouco daquela que é aceitável, de mais ou menos  $0.3\%$ .

## Densidades obtidas nas compactações com diferentes energias

Compactação	Tipo de Compactação	Mod. AASHTO	NRB	Proctor
		5 x 55 x 4.536 kg	5 x 25 x 4.536 kg	3 x 55 x 2.495 kg
	Compactador nº			
	Molde nº	106	10	7
	Volume do Molde ml	2314	2306	2311
	F - Factor de Molde :	43.22	43.37	43.27
	Peso do Molde + Solo Húmido g	13997	14050	13642
	Peso do Molde g	8592	8922	8784
	Peso do Solo Húmido g	5405	5128	4858
	Densidade Húmida kg/m <sup>3</sup>	2335.8	2223.8	2102.1
	Densidade Seca Aproximada kg/m <sup>3</sup>	2136.7	2034.2	1923.0
	Densidade Seca kg/m <sup>3</sup>	2145.7	2042.8	1931.0
	% Compactação	100.3	95.5	90.3

Tabela 25: Densidades obtidas com diferentes energias de compactação- Fonte: Adaptado pelo autor

## Dados de penetração

Molde nº		106		10		7		CBR (%)		
Pen. (mm)	Carga Standard	Div.	Carga (kN)	Div.	Carga (kN)	Div.	Carga (kN)	M. AASHTO	NRB	Proctor
0.000	13.344	0.24	0.24	0.05	0.05	0.07	0.07	81.2	57.7	22.9
0.635		3.74	3.74	1.97	1.97	1.45	1.45			
1.270		6.31	6.31	4.05	4.05	2.16	2.16			
1.905		8.70	8.70	5.97	5.97	2.64	2.64			
2.540		10.83	10.83	7.70	7.70	3.05	3.05			
3.175	20.016	12.48	12.48	9.20	9.20	3.40	3.40	86.1	62.2	20.5
3.810		14.11	14.11	10.46	10.46	3.62	3.62			
4.445		15.77	15.77	11.47	11.47	3.83	3.83			
5.080		17.23	17.23	12.44	12.44	4.10	4.10			
5.715	25.354	18.51	18.51	13.37	13.37	4.39	4.39	88.9	61.3	19.7
6.350		19.72	19.72	14.20	14.20	4.54	4.54			
6.985		21.17	21.17	14.82	14.82	4.69	4.69			
7.620		22.54	22.54	15.55	15.55	4.99	4.99			
8.255	25.354	23.86	23.86	16.54	16.54	5.31	5.31	Relação CBR/Compactação Relativa		
8.890		25.09	25.09	17.30	17.30	5.42	5.42	81.2	57.7	22.9
9.525		26.60	26.60	17.99	17.99	5.73	5.73	100.3	95.5	90.3

Tabela 26: Dados de penetração do ensaio de CBR- Fonte: Adaptado pelo autor

## Curva de força-penetração

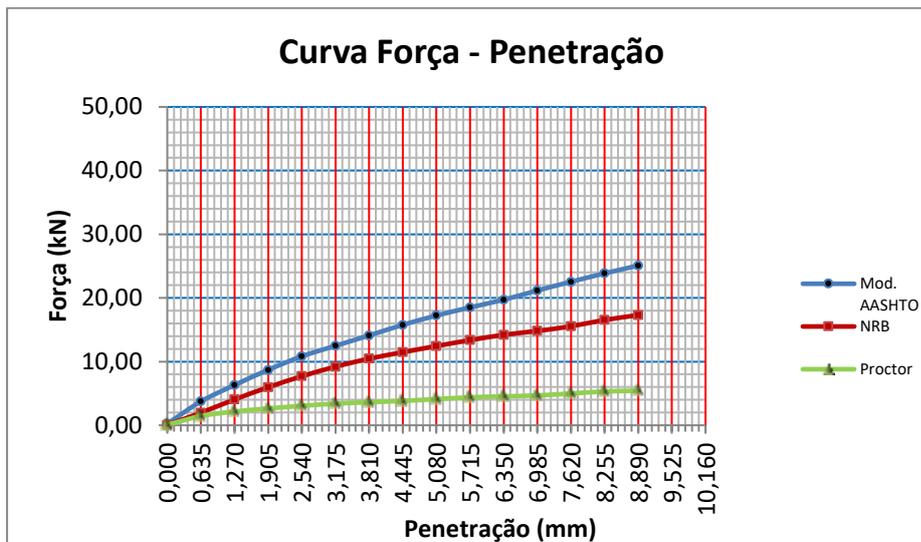


Figura 50: Curva força-penetração do ensaio de CBR- Fonte: Adaptado pelo autor

## Relação CBR-densidade seca

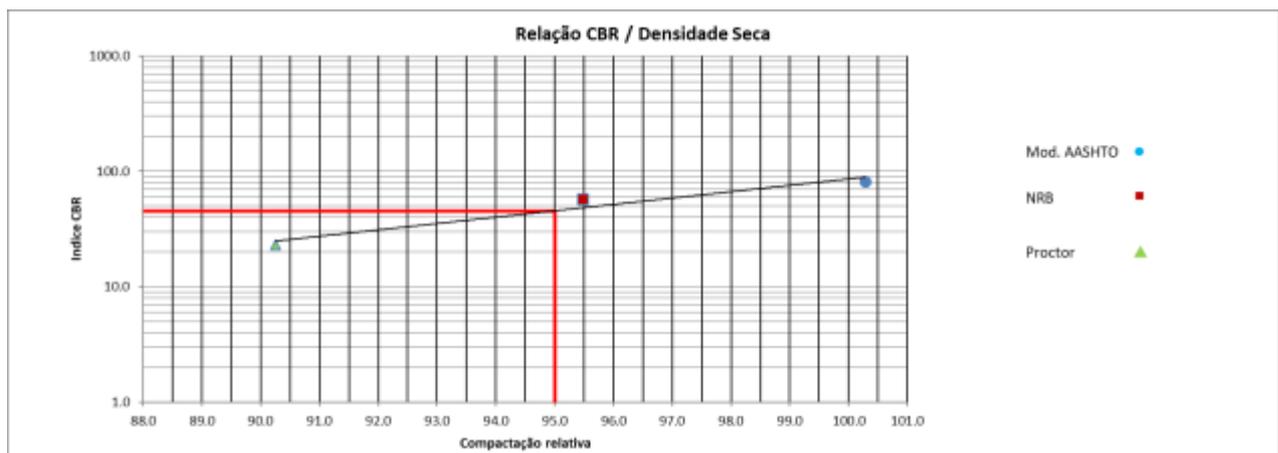


Figura 51: Relação CBR-Densidade seca- Fonte: Adaptado pelo autor

## Valores de CBR

CBR	
100% MDD	85.8%
98% MDD	66.6%
95% MDD	45.5%
93% MDD	35.3%
90% MDD	24.1%

Tabela 27: Valores de CBR com diferentes energias de compactação-Fonte: Adaptado pelo autor

Com os resultados acima obtidos conclui-se que o CBR a 100% de energia é de 85.8% é 95% de energia e de 45.5%.

### 5.1.5 Classificação do solo do subleito

#### a. Sistema de classificação da AASHTO

Dados de entrada:

$$P_{10}=60.63\%$$

$$P_{40}=34.18\%$$

$$P_{200}=16.65\% < 35\%$$

$$LL=25\% < 40$$

$$IP=10\%=10$$

Com esses dados conclui-se que o solo em estudo pertence ao grupo A-2-4, tratando dum material granular em que os materiais constituintes significativos são pedregulhos e areias siltosas ou argilosas que apresentam como qualidade geral como subleito entre excelente a boa.

O índice do grupo (IG) de acordo com a alínea d. das regras para a determinação do índice de grupo e igual a zero. A classificação final do solo é: A-2-5 (0).

#### b. Sistema unificado de classificação de solos (SUCS)

Dados de entrada:

$$P_{200}=16.65\% < 50\% \rightarrow \text{Trata-se dos solos grossos}$$

$$P_4=72.57\% > 50\% \rightarrow \text{Trata-se das areias}$$

$$D_{10}=0.060\text{mm}$$

$$D_{30}=0.396\text{mm}$$

$$D_{60}=2\text{mm}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2}{0.060} = 33.3 > 6$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{0.396^2}{0.060 * 2} = 1.31 \leftrightarrow 1 < C_c < 3$$

Com os dados de coeficiente de uniformidade e da curvatura conclui-se que o solo pertence ao grupo SW. Mas já que o solo em causa requer símbolos duplos, entra-se com os dados dos limites de Atterberg.

$IP=10\% > 7\%$  e  $LL=25\%$  e em concordância com o IP no gráfico de plasticidade, observa-se que o ponto está acima da linha A, logo trata-se do grupo SC. A classificação final do solo será: SW-SC.

Indo mais além dessa classificação, pode-se determinar:

Fracção de pedregulho= $100-72.57=27.43\%$

Fracção de areia= $72.57-16.65=55.92\%$

Fracção de argila e silte= $16.65\%$

Nota-se que o solo possui mais de 50% de areia. E segundo a designação de ASTM D-2427, que é mencionada pelo Das (2007), tendo o solo mais de 15% de pedregulho, a classificação final será: areia bem-graduada com argila e pedregulho (ou argila siltosa e pedregulho).

## 5.2 Materiais para as misturas betuminosas a frio e a quente

### 5.2.1 Análise granulométrica

#### 5.2.1.1 Análise granulométrica da areia

Massa total da amostra=515.6g

Massa total da amostra após a lavagem=478.7g

Fracção lavada=36.9g

Abertura do Peneiro	Massa retida	% Retida	% Retida acum.	% Passada acum.
Mm	(g)			
9.5	0.00		0.00	100.00
6.7	0.00		0.00	100.00
4.75	1.20	0.23	0.23	99.77
2.000	54.10	10.51	10.75	89.25
1.180	54.30	10.55	21.30	78.70
0.600	103.40	20.09	41.39	58.61
0.425	60.70	11.80	53.19	46.81
0.300	53.00	10.30	63.49	36.51
0.150	90.00	17.49	80.98	19.02
0.075	44.90	8.73	89.70	10.30
>0,075 (P1+P2)	53.00	10.30	100.00	0.00
Base (P2)	16.10			
TOTAL	514.60			

Tabela 28: Dados do ensaio de análise granulométrica da areia para massa betuminosa- Fonte: Adaptado pelo autor

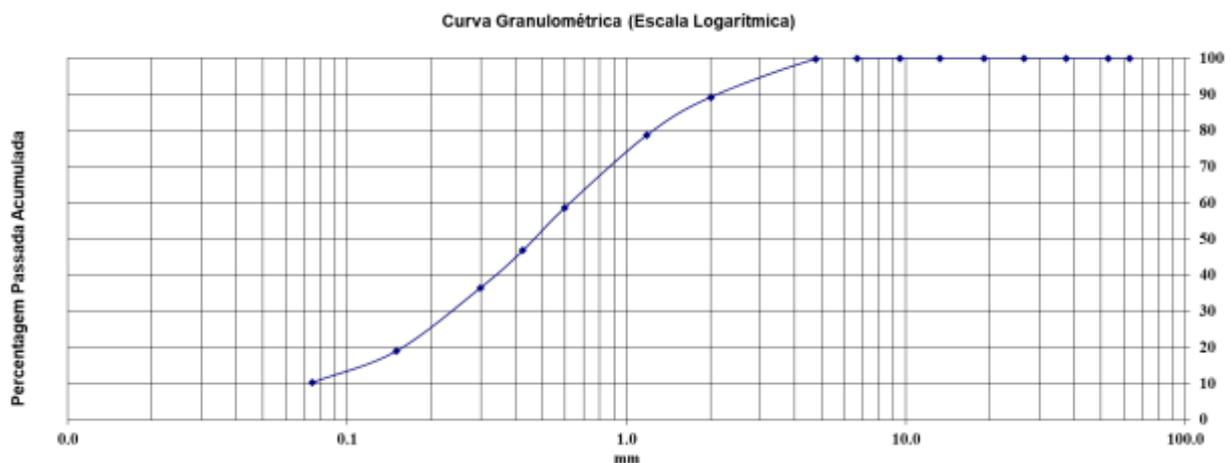


Figura 52: Curva granulométrica da areia para massas betuminosas-Fonte: Adaptado pelo autor

### 5.2.1.2 Análise granulométrica da brita

Massa total da amostra=1004.7g

Massa total da amostra após a lavagem=996.7g

Fracção lavada=8g

Abertura do Peneiro mm	Material Retido		Acumulado	
	Peso (g)	Perc. (%)	Passado (%)	Retido (%)
63.0	0.0	0.0	100.0	0.0
53.0	0.0	0.0	100.0	0.0
37.5	0.0	0.0	100.0	0.0
26.0	0.0	0.0	100.0	0.0
19.00	0.0	0.0	100.0	0.0
13.20	0.0	0.0	100.0	0.0
9.50	16.0	1.6	98.4	1.6
6.70	100.6	10.1	88.3	11.7
4.75	272.6	27.4	60.9	39.1
0.425	601.7	60.4	0.5	99.5
0.075	2.7	0.3	0.2	99.8
<0,075	1.8	0.2	0.0	100.0
Total	995.4	100.0	0.0	100.0

Tabela 29: Dados do ensaio de análise granulométrica da brita para massa betuminosa- Fonte: Adaptado pelo autor

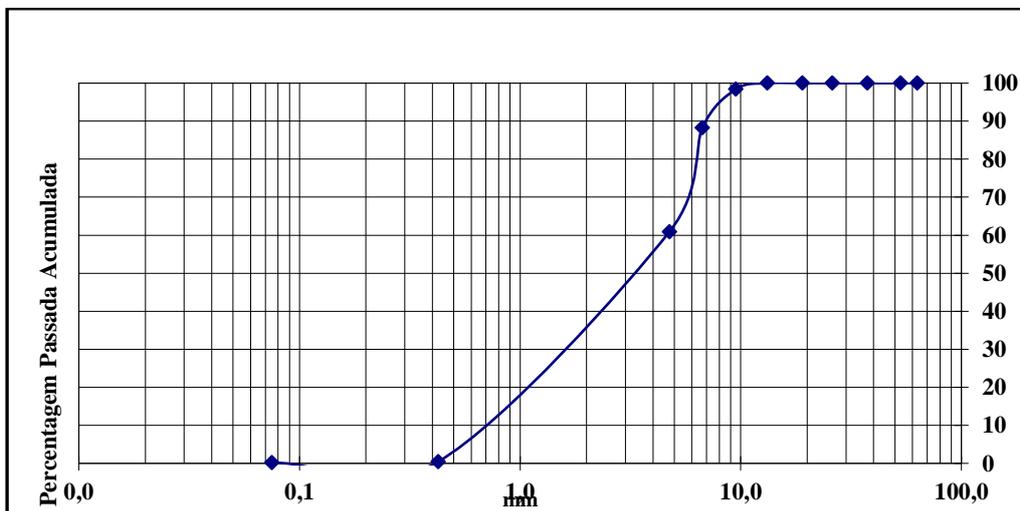


Figura 53: Curva granulométrica da brita para massas betuminosas-Fonte: Adaptado pelo autor

### 5.3 Materiais usados para o tratamento superficial duplo

#### 5.3.1 Brita do tamanho de 19.00mm

##### 5.3.1.1 Análise granulométrica

Massa total da amostra=2561.8g

Massa total da amostra após a lavagem=2554.3g

Fracção lavada=7.5g

Abertura do Peneiro	Material Retido		Acumulado	
	Peso (g)	Perc. (%)	Passado (%)	Retido (%)
63.0	0.0	0.0	100.0	0.0
53.0	0.0	0.0	100.0	0.0
37.5	0.0	0.0	100.0	0.0
26.0	0.0	0.0	100.0	0.0
19.00	525.3	20.7	79.3	20.7
13.20	1862.4	73.3	6.1	93.9
9.50	146.8	5.8	0.3	99.7
6.70	5.1	0.2	0.1	99.9
4.75	0.0	0.0	0.1	99.9
0.425	0.1	0.0	0.1	99.9
0.075	1.1	0.0	0.0	100.0
<0,075	0.8	0.0	0.0	100.0
<b>Total</b>	<b>2541.6</b>	<b>100.0</b>	<b>0.0</b>	<b>100.0</b>

Tabela 30: Dados do ensaio de análise granulométrica da brita para TSD-Fonte: Adaptado pelo autor

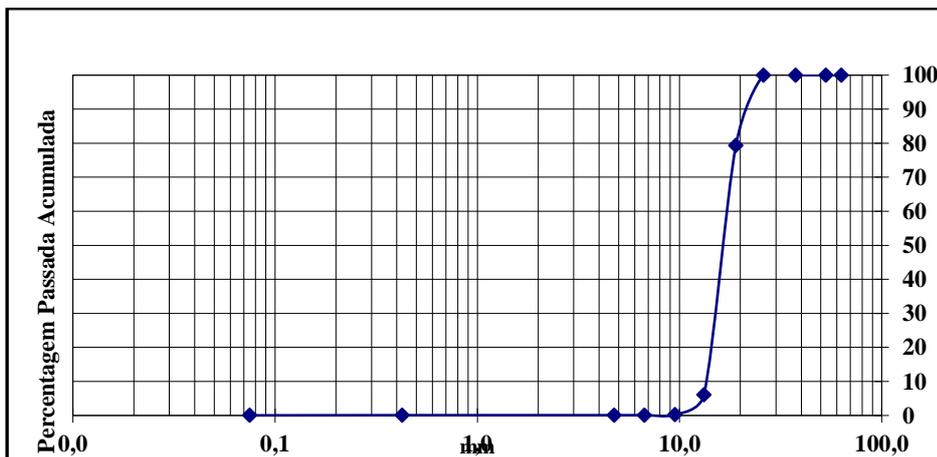


Figura 54: Curva granulométrica da brita para TSD-Fonte: Adaptado pelo autor

Pela granulometria do agregado em causa e com a tabela 4302/8 de SATCC, conclui-se que se trata da brita de diâmetro nominal de 19.00, os valores diferem apenas na percentagem passada na abertura do peneiro de 19.00mm que no agregado em causa e 79.3%, uma vez que, segundo SATCC para a mesma abertura, a percentagem

passada acumulada deveria ser de 85% a 100%. Mas trata-se da diferença de apenas 5.07%. Falta agora a determinação da classe do agregado.

$$P_{40}=0.1\% < 0.5\%$$

$P_{200}=0\%$  → Sem conteúdo do que passa na peneira número 200.

Logo trata-se de um agregado de diâmetro nominal 19.00mm de classe 1.

### 5.3.1.2 Resistência mecânica de agregado graúdo pelo método dos 10% dos finos e ACV

#### a. Ensaio a seco

Peso do molde + amostra	6110	6072	6102	6116
Peso do molde	3168	3168	3168	3168
Peso da amostra (13,2mm)	2942	2904	2934	2948
Percentagem passante no peneiro de 2.36mm	125	285	367	557
A.C.V.	4.2	9.8	12.5	18.9
Força (KN)	100	200	300	400

Tabela 31: Resultados do ACV seco da brita-Fonte: Adaptado pelo autor

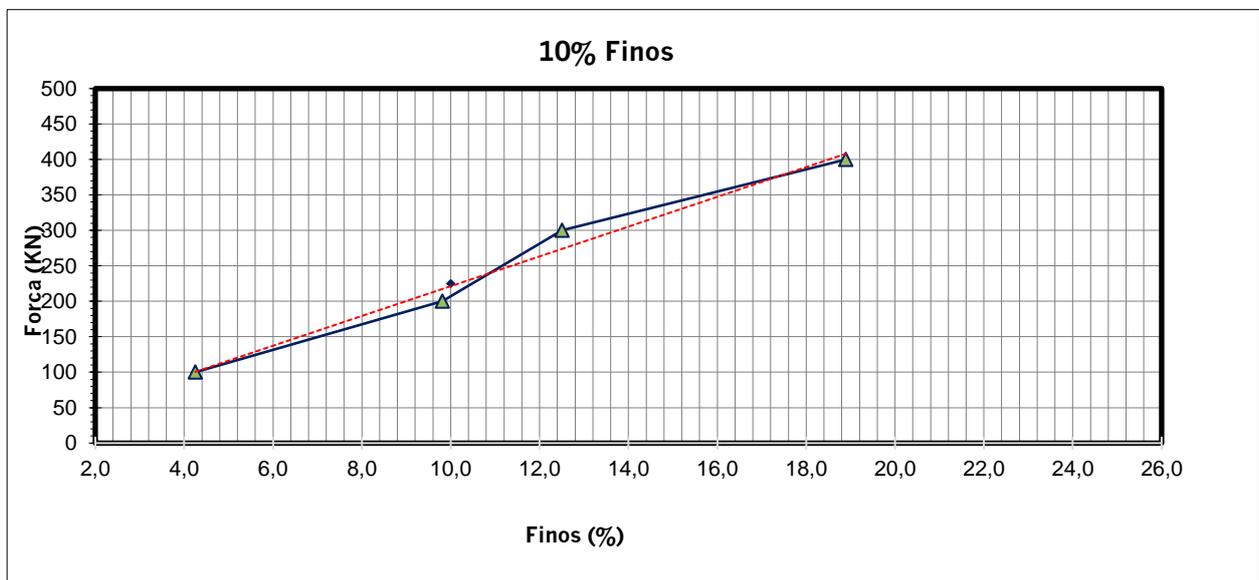


Figura 55: Gráfico dos resultados de ACV seco- Fonte: Adaptado pelo autor

Através do gráfico lê-se a força necessária para que se produzam 10% de finos que é de 225KN e o ACV, que é a percentagem de finos que se produzem ao se aplicar uma força de 400KN é de 18.8%.

10%Fact=225KN, que é maior que 210kN especificado pelas especificações técnicas de SATCC. Portanto, satisfaz esse requisito técnico.

ACV=18.8%

### b. Ensaio húmido

Peso do molde +amostra	6110	6072	6102	6116
Peso do molde	3168	3168	3168	3168
Peso da amostra (13,2mm)	2894	2914	2964	2918
Percentagem passante no peneiro de 2.36mm	153	325	391	598
A.C.V.	5.3	11.2	13.2	20.5
Força (KN)	100	200	300	400

Tabela 32 Tabela 31: Resultados do ACV húmido da brita-Fonte: Adaptado pelo autor

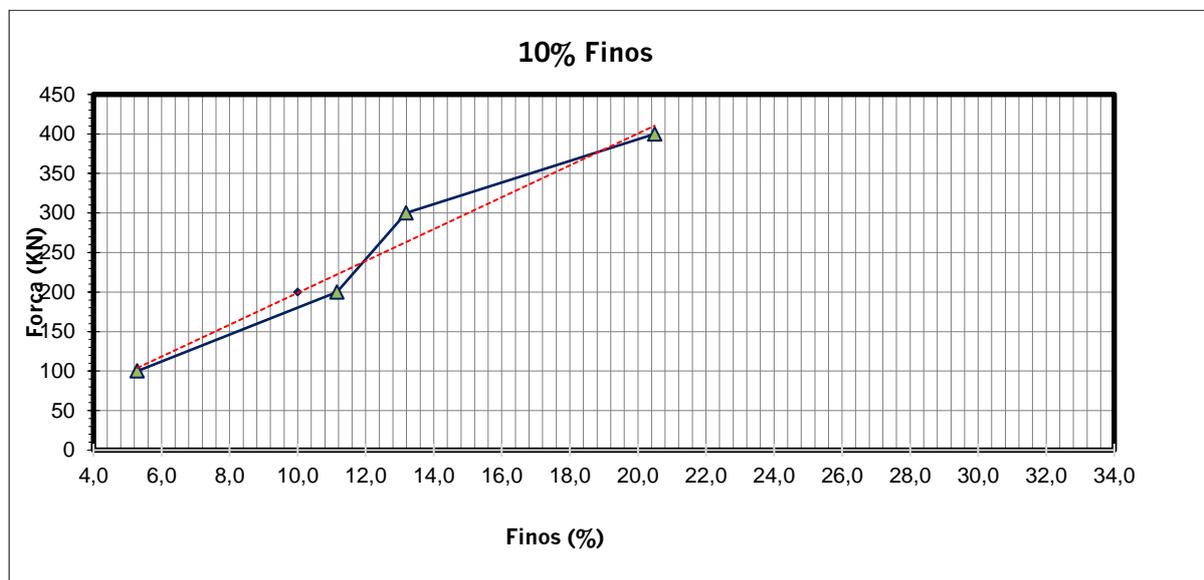


Figura 56: Gráfico dos resultados de ACV húmido-Adaptado pelo autor

Através do gráfico lê-se os seguintes valores:

10%Fact=200KN

ACV=20.4%

A relação entre os 10%Fact húmido e seco e seguinte  $200/225=0.89$  que é maior que 0.75, conforme indicado pelas especificações técnicas de SATCC.

A qualidade do material no que diz respeito a resistência mecânica pelo método de 10% dos finos satisfaz os requisitos técnicos especificados pela SATCC.

### 5.3.1.3 Índice de Lamelação

Massa total usada 2683.8g

Peneiros ASTM		Fracção			
Passado (mm)	Retido (mm)	Passado (mm)	Retido (mm)	Passado no medidor (g)	Retido no medidor (g)
3"	2" 1/2	75.000	63.000	0.00	0.00
2" 1/2	2"	63.000	50.790	0.00	0.00
2"	1" 1/2	50.790	37.500	0.00	0.00
1" 1/2	1"	37.500	26.500	0.00	0.00
1"	3/4"	26.500	19.000	0.00	0.00
3/4"	1/2"	19.000	13.200	385.90	60.80
1/2"	3/8"	13.200	9.500	1,277.50	744.50
3/8"	1/4"	9.500	6.300	105.30	52.80
1/4"	Nº4	6.300	4.750	11.20	9.30
Somatório das fracções (g)				1,779.90	867.40
Índice de lamelação				<b>67.23%</b>	

Tabela 33: Resultados do ensaio de índice de lamelação da brita 19.00mm-Fonte: Adaptado pelo autor

IL=67.23%

Tratando-se do agregado de diâmetro nominal de 19.00mm de classe 1, o índice de lamelação máximo, segundo SATCC é de 25%. O índice de lamelação do agregado em causa é de 67.23% e é muito maior que o especificado, não satisfazendo, nesse caso, os requisitos técnicos.



Pela granulometria do agregado em causa e de acordo com a tabela 4302/8 de SATCC, conclui-se que se trata da brita de diâmetro nominal de 9.50mm, os valores diferem apenas na percentagem passada na abertura do peneiro de 6.70mm que no agregado em causa é 30.3%, uma vez que, segundo SATCC para a mesma abertura, a percentagem passada acumulada deveria ser de 0% a 30%. Mas trata-se de uma diferença ligeira. Falta agora a determinação da classe do agregado.

$$P_{40}=0.4\% <0.5\%$$

$$P_{200}=0.2\% <0.5\%$$

Logo trata-se de um agregado de diâmetro nominal 9.50mm de classe 2.

### 5.3.2.2 Índice de lamelação

Massa total usada e de 2054.4g

Peneiros ASTM		Fracção			
Passado (mm)	Retido (mm)	Passado (mm)	Retido (mm)	Passado no medidor (g)	Retido no medidor (g)
3"	2" ½	75.000	63.000	0.00	0.00
2" ½	2"	63.000	50.790	0.00	0.00
2"	1" ½	50.790	37.500	0.00	0.00
1" ½	1"	37.500	26.500	0.00	0.00
1"	¾"	26.500	19.000	0.00	0.00
¾"	½"	19.000	13.200	4.80	7.40
½"	⅜"	13.200	9.500	93.60	11.60
⅜"	¼"	9.500	6.300	955.30	424.50
¼"	Nº4	6.300	4.750	351.00	145.90
Somatório das fracções (g)				1,404.70	589.40
Índice de lamelação				<b>70.44%</b>	

Tabela 35: Resultados do índice de lamelação da brita 9.5mm-Fonte: Adaptado pelo autor

$$IL=70.44\%$$

Tratando-se do agregado de diâmetro nominal de 9.50mm de classe 2, o índice de lamelação máximo, segundo SATCC e de 35%. O índice de lamelação do agregado em causa e de 70.44% e é aproximadamente duas vezes maior que o especificado, não satisfazendo também, nesse caso, os requisitos técnicos.

## 6 CONCLUSÃO

Com esse trabalho conclui-se que:

- O solo do subleito possui uma boa ou mesmo excelente qualidade como subleito, de acordo com o sistema de classificação da AASHTO. Também o mesmo solo em estudo de acordo com as duas classificações possui características semelhantes, já que para o sistema da AASHTO admite que os materiais constituintes significativos são pedregulhos e areias siltosas ou argilosas e o SUCS admite que o solo é areia bem-graduada com argila e pedregulho (ou argila siltosa e pedregulho).
- A maioria das propriedades dos materiais usados na execução do TSD atendem os requisitos técnicos estabelecidos pelas especificações técnicas de SATCC, a única propriedade que não atende é o índice de lamelação, que é muito elevado em relação ao especificado. Isto quer dizer que os agregados usados como o de diâmetro nominal de 19.00mm assim como de 9.5mm são muito laminares, o que em obras de pavimentação são considerados inapropriados.
- As especificações técnicas da SATCC têm como base para ensaios laboratoriais, a norma sul-africana TMH1.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a empresa Adams Construções, a empresa empreiteira responsável pelos trabalhos de manutenção da estrada nacional N260 que:

- Use os materiais que satisfazem as normas estabelecidas pelas especificações técnicas de SATCC, exclusivamente no que concerne ao índice de lamelação.
- Use um sistema de gerência como método PCI (*Paviment Conditions Index*) para analisar o desempenho do pavimento por meio do valor de PCI para avaliar as necessidades dos tipos de manutenção do pavimento.
- Existem algumas zonas que precisam de selagem de fissuras, já que se trata de problemas em que o tapamento de buracos não resolve e nem a colocação do novo revestimento não seria economicamente viável.
- Faça os ensaios laboratoriais para garantir a qualidade da obra, e que as especificações técnicas sejam garantidas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1).Administração Nacional de Estradas (2015) - Normas de execução
- (2).Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G., Ceratti, J. A. P& Soares, J. B. 2022- Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, 2ªed., Petrobras, Rio de Janeiro
- (3).Caputo, H. P. 1988- Mecânica dos solos e suas aplicações, V-1, 6ªed., LTC, Rio de Janeiro.
- (4).Das, B. M 2007- Fundamentos de Engenharia Geotécnica, 6ªed., Thomson Learning, São Paulo.
- (5).DER/SP 2006- avaliação de pavimentos flexíveis e semi-rígidos por meio de levantamento visual contínuo de defeitos da superfície, DER/SP, São Paulo.
- (6).DNIT 2007-Manual de pavimentação, 3ªed., ENGESUR LTDA, Rio de Janeiro
- (7).Johnson, G. & Pantelis J. 2008- Gotta Seal Surfacing of Aggregate Roads
- (8).Southern African Transport and communications Commission (SATCC)- Standard specifications for road and bridge works, CSIR, 1998
- (9).Technical Methods for Highways 1986- Standard Methods of Testing Road Construction Materials, 2nd Ed., Department of Transport, Pretoria.

### Outras bibliografias

- (1).DNIT 005/2003-PRO 2003- Terminologia de defeitos em pavimentos flexíveis e semi-rígidos, DNIT, Rio de Janeiro.
- (2).Maia, I. M. C. 2012- Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários, FEUP, Porto.
- (3).Silva, J. P. 2016-Estudo comparativo de diversas técnicas de compactação laboratorial e suas implicações- Dissertação de mestrado, ISEC, 2016
- (4).<https://tpf.pt/obra.php?n=rodovias&p=reabilitacao-da-en-n260-chimoio-espungabera>, 27 de Outubro de 2024
- (5).[https://macua.blogs.com/moambique\\_para\\_todos/2015/01/manica-estrada-chimoio-espungabera-obras-conclu%C3%ADdas-dentro-em-breve.html](https://macua.blogs.com/moambique_para_todos/2015/01/manica-estrada-chimoio-espungabera-obras-conclu%C3%ADdas-dentro-em-breve.html), 27 de Outubro de 2024

## **9 ANEXOS**

Anexo 1: Equipamentos utilizados nos ensaios e realização dos ensaios



A1- 1: Agitação da amostra no ensaio de análise granulométrica-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 2: Peneiros usados no ensaio de análise granulométrica-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 3: Amostras esparteladas e divididas em bacias para a compactação-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 4: Pesagem do molde com solo compactado para imersão-ensaio de CBR-Adaptado pelo autor



A1- 5: Equipamentos utilizados no ensaio limites de Atterberg-Adaptado pelo autor



A1- 6: Medidor usado no ensaio de índice de lamelação



A1- 7: Equipamentos usados no ensaio de ACV e 10% Fact-Adaptado pelo autor



A1- 8: Penetração no solo compactado no ensaio de CBR-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 9: Realização do ensaio de limite de liquidez-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 10: Imersão dos solos compactados na água-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 11: Separação manual da amostra para realização de ensaios-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 12: Esquartelamento da amostra para realização de ensaios-Fonte: Adaptado pelo autor



A1- 13: Esmagamento de brita na prensa no ensaio de ACV ou 10% Fact-Adaptado pelo autor