

Teodósio Alcino Nzualo

**Proposta de métodos de recuperação das degradações no pavimento da Estrada
Nacional Nº 2.
Estudo de Caso do Troço Boane – Mafuiane.**

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Teodósio Alcino Nzualo

**Proposta de métodos de recuperação das degradações no pavimento da Estrada
Nacional Nº 2.**

Estudo de Caso do Troço Boane – Mafuiane.

Monografia Científica apresentada ao departamento de Engenharias, Faculdade de Engenharias e Tecnologias, para a obtenção do grau académico de Licenciatura em Engenharia de Construção civil Habilitação em Construção e Manutenção de Vias de Comunicação.

Supervisor: Eng.º Pacheco Fernando Macamo – UPM

Co– Supervisor: Eng.º André Chongo – ANE, IP

Arguente: Eng.^a Teodósia Checane

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Índice	
Índice	i
Declaração de Honra	v
Dedicatória	vi
Epigrafe	vi
Agradecimentos	vii
Lista de Símbolos, Abreviaturas e Siglas	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
Resumo	xiii
Abstract	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.0. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Relevância da Pesquisa	2
1.3. Problema	3
1.4. Justificativa	4
1.5. Hipóteses	5
1.5.1 Hipótese Geral	5
1.5.2 Hipóteses secundárias	5
1.6. Objetivos	5
1.6.1 Objetivo Geral	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.0 Fundamentação teórica	6
2.1 Concepção de Pavimentos	9
2.2. Função da Fundação e das Camadas de um Pavimento	10
2.2.1 Objectivo do Pavimento	12
2.3. Deterioração dos Pavimentos	13
2.4. Manutenção, conservação e reabilitação de Pavimentos flexíveis	15
2.4.1 Manutenção de pavimentos flexíveis	17
2.4.2. Manutenção Periódica	17
2.4.3. Manutenção de Rotina	18

2.4.4. Manutenção de Emergência	19
2.5 Defeitos em pavimentos asfaltados	19
2.5.1 Defeitos de Superfície	20
2.5.1.1 Desagregação superficial.....	20
2.5.1.2 Buracos	21
2.5.1.3. Exsudação.....	22
2.5.1.4 Remendos	23
2.5.2 Defeitos Caracterizados por Deformações.....	24
2.5.2.1 Corrugações/ Ondulações	24
2.5.2.2 Rodeiras.....	25
2.5.3 Defeitos caracterizados por Fendilhação.....	27
2.5.3.1 Fissuras do tipo pele de crocodilo	27
2.5.3.2 Fissuras longitudinais.....	28
2.5.3.3 Fissuras transversais	29
2.5.3.4 Fissuras em bloco.....	30
2.6 Técnica para Manutenção/Reabilitação de pavimento Betuminoso	31
2.6.1 Técnicas Para Recuperação das Fendas / Trincas	32
2.6.1.1. Reparação De Fissuras Por Selagem	33
2.6.1.2 “Fog Seal”.....	34
2.6.1.3 Revestimento Superficial Duplo.....	34
2.6.1.4 Lama Asfáltica	34
2.6.1.5 Microrrevestimento	34
2.6.1.6 Misturas Betuminosas a Quente Finas	34
2.6.2. Técnicas Para Recuperação dos Afundamentos	34
2.6.3. Técnicas Para Recuperação de Exsudação.....	36
2.6.4. Técnicas Para Recuperação dos Buracos	36
2.7. Materiais Para Tratamento De Defeitos Em Pavimentos Asfaltados	37
2.7.1 Definições.....	37
2.7.2 Materiais para impregnação.....	38
2.7.3 Materiais para rega de colagem	38
2.7.4 Tipos de emulsão asfálticas.....	38
CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE PESQUISA	40
3.1 Métodos de pesquisa	40

3.2. Classificação de pesquisa.....	40
a) Quanto a natureza	40
b) Quanto a procedimentos	40
c) Instrumentos e utensílios	41
3.3. Delimitação da pesquisa	41
a) Temporal.....	41
b) Espacial	42
CAPITULO IV: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS ..	43
4.0 ESTUDO DE CASO	43
4.1 Patologias/Defeitos no pavimento da estrada Nacional N2 entre o troço Boane- Mafuiane.	44
4.1.1. Fendilhamento.....	48
4.1.2. Afundamentos	49
4.1.3. Exsudação	50
4.1.4. Remendos.....	51
4.1.5. Desagregação superficial.....	51
4.1.6. Quebra de borda	52
4.1.7. Buracos	53
4.2 Controle Tecnológico	55
4.2.1. Colheita de Amostras - Solos	55
4.2.2. Análise da Curva granulométrica	56
4.2.3. Ensaio de limite Atterberg/ Índice de Plasticidade.....	57
4.2.4. Ensaio de compactação (Próctor).....	58
4.2.5. Ensaio de CBR - Califórnia Bearing Ratio.....	59
4.3 Influência do tráfego.....	60
4.3.1 Circulação de viaturas com excesso de carga.....	61
4.4 Resultados dos Ensaios laboratoriais	63
4.4.1 Ensaios de Compactação	63
4.4.2. Ensaio de CBR - California Bearing Ratio.....	63
4.4.3. Análise Granulométrica	64
4.4.4 Limite de Consistência.....	64
4.4.5 Métodos propostos para recuperação das patologias na estrada Nacional N° 2 entre o troço Boane – Mafuiane.....	66
CAPITULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	68

5.1 Conclusões	68
5.2 Recomendações	69
5.3. Bibliografia	70
5.4. Anexos	72
Horizontal and vertical contracted of alignment.....	72
5.5. Apêndices	76
Seccão Tipo do Pavimento corte transversal.	76
Resultado de ensaio de CBR.....	77
Resultado de ensaio de Compactação	78
Resultado do ensaio de Granulometria	79
Resultado de ensaio de Limite de Atteberg	80

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que esta monografia, que no presente momento submeto a Universidade Pedagógica de Maputo, em cumprimento dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil – Habilitação em Construção e Manutenção de Vias de Comunicação, nunca foi apresentada para obtenção de qualquer outro grau académico e que constitui o resultado da minha investigação pessoal, tendo indicado no texto as fontes que usei.

Maputo, 09 de Novembro de 2023

O Candidato

(Teodósio Alcino Nzualo)

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus Pais, Alcino das Neves Milisse Nzualo e Angélica Paulino Jeje, por serem o meu Alicerce e minha maior fonte de inspiração e pela maior prova de amor que puderam me proporcionar que é a educação, aos meus Irmão, Paulino Muebe, Armando Taula Milisse Nzualo e Joaquina Alcino Nzualo pelo companheirismo e força em todos os momentos.

Epigrafe

Não existem métodos Fáceis para resolver Problemas difíceis.

René Descartes.

Agradecimentos

À Deus por ser a minha maior fonte de força e dedicação, por sempre se mostrar presente em minha vida e em tudo que faço, e por presentear-me com meus maiores bens, a minha família, Pais, irmãos e amigos.

Ao meu supervisor, Eng.º Pacheco Macamo – UPM, por ter aceite este desafio de me acompanhar logo na nossa primeira interação, por sempre ajudar a tomar as melhores diretrizes para elaboração deste trabalho.

Ao meu Co-supervisor, Eng.º André Chongo – ANE, IP, por me guiar em caminhos certos para conseguir enquadrar a minha pesquisa dentro dos objetivos traçados, pela sua vasta experiência no sector de estradas puxando sempre pela investigação técnica e científica aliando os trabalhos em campo.

Ao Eng.º Elcídio Paruque – ANE, IP – Serviços de Manutenção e Segurança Rodoviária (SEMAS), pela calorosa recepção e pelas conversas semanais que foram sempre como aulas de sapiência com jeito de fazer perceber como funciona o sector de estradas em Moçambique, por todo material bibliográfico fornecido, pela sua abertura e simplicidade.

A Eng.ª Joana Guiuele – ANE, IP, por ter sido uma Mãe e por sempre ajudar a ter o pensamento correto em momentos complicados, pelos conselhos da Vida e por sempre estar disposta a ensinar.

Ao Eng.º Manuel Cossa – ANE, IP, por temos nos arranjado um espaço para partilhar o mesmo gabinete e por sempre se mostrar presente para sanar dúvidas e indicar melhores caminhos a seguir.

Aos Engenheiros afectos ao laboratório da ANE, IP – Delegação de Maputo, em particular ao Tec. Pedro Melo por ter acompanhado a elaboração do controle tecnológica deste trabalho desde a recolha de solos em campo até o processamento no Laboratório, pelas explicações e pela abertura.

Ao meu colega de Estagio, Tárekh Lácio Impuia, pelo companheirismo e pela troca de experiência que pudemos partilhar e que certamente levaremos por toda vida.

A minha Namorada Denise Rufina Langa, pelo Companheirismo, Carinho, Amor e Coragem no percurso da minha formação e por sempre estar presente e do meu lado nesta longa caminhada da vida, pelo encorajamento e oração no decurso da elaboração do presente trabalho.

Ao meu grande amigo Hilário Júnior de Lisboa, colegas e amigos de faculdade, Fábio Tamele, Celso Neves, Helder Chauque, pelas batalhas que travamos juntos e saímos vitoriosos, pelos momentos que passamos nesta longa formação e hoje podemos dizer que sim, conseguimos.

Aos demais colaboradores da ANE, IP, o meu muito obrigado pela ajuda directa ou indirectamente para realização deste trabalho.

A todos docentes da Universidade pedagógica de Maputo e em particular os do curso de Engenharia Civil, pela instrução e pelos sábios conhecimentos, habilidades, capacidades e aptidões por mim adquiridas, aos colegas de turma e a todos que participaram directa ou indirectamente durante o período da minha formação.

Aos meus Pais, Irmãos, sobrinhas, amigos e familiares, agradeço pelo amor, carinho, apoio, atenção e inspiração.

Lista de Símbolos, Abreviaturas e Siglas

$W_{\text{ópt}}$ – Teor Ótimo

γ_s máximo – Peso específico máximo

γ_{max} – Baridade seca Máxima

AASHO – American Association of State Highway Officials

ANE – Administração Nacional de Estradas

ASSHTO – American Association of State Highway and Transportation Official

CBR - Califórnia Bearing Ratio

DNEP – Departamento Nacional de Estradas e Pontes

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

MC-30 – Betume fluidificado de cura média

SATCC – Draft Especificações Técnicas para Obras de Estradas e Pontes.

TMH – Standard methods of testing road constrution materials

TSS – Tratamento Superficial Simples

VSA – Valor de Serventia Atual

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Distribuição das tensões num pavimento rígido e num pavimento flexível.</i>	7
<i>Figura 2. Secção típica de um pavimento Flexível. (Faleiros, 2005).....</i>	9
<i>Figura 3. Pavimento rígido - Secção típica. (Balbo, 2007).....</i>	9
<i>Figura 4. Diagrama esquemático da estrutura de um pavimento rodoviário. (Balbo 2007).....</i>	10
<i>Figura 5. Organograma de Defeitos em pavimentos asfaltados. (ANE 2021)</i>	19
<i>Figura 6. Mecanismo da desagregação do revestimento. (ANE 2021).....</i>	20
<i>Figura 7. Desagregação da superfície. (ANE 2021).....</i>	20
<i>Figura 8. Buracos. (ANE 2021).....</i>	21
<i>Figura 9. Exsudação do ligante do revestimento. (ANE 2021).....</i>	23
<i>Figura 10. Remendos em pavimento. (ANE 2021)</i>	24
<i>Figura 11. Corrugações/Ondulações em pavimentos asfaltados. (ANE 2021).....</i>	25
<i>Figura 12. Esquema e foto de rodeira com deformação consolidada, revestimento superficial. (ANE 2021)</i>	26
<i>Figura 13. Mecanismo e foto de rodeiras com deformação plástica, em pavimento asfáltico. (ANE 2021)</i>	26
<i>Figura 14. Fissuras do tipo pele de crocodilo. (ANE 2021).....</i>	27
<i>Figura 15. Fissuras longitudinais. (ANE 2021)</i>	28
<i>Figura 16. Fissuras transversais. (ANE 2021).....</i>	29
<i>Figura 17. Fissuras em bloco. (ANE 2021).....</i>	31
<i>Figura 18. Aplicação de ligante(1), Distribuição de agregados(2). (BERNUCCI, 2008).....</i>	32
<i>Figura 19. Aplicação de lama asfáltica. (BERNUCCI, 2008).....</i>	33
<i>Figura 20. Processo de recapeamento. (BERNUCCI, 2008).....</i>	35
<i>Figura 21. Processo de recapeamento. (Município de espírito Santo do pinhal, visitado em 24.07.2023)</i>	35
<i>Figura 22. Ilustração da exsudação na parte lateral (a) e central (b) da rodovia, e detalhes (c). (Bernucci, 2006, p. 420; Pinto, 2003, p. 52; Silva, 2008, p. 33)</i>	36
<i>Figura 23. Localização da Área em estudo. (ANE 2021).....</i>	43
<i>Figura 24. Mapa da Descrição do Local de Estudo desenhado pelo Google Earth. (Google Earth 2023)</i>	43
<i>Figura 25. Múltiplas patologias, entrada da pedreira Progosa. Km 5+700. (Autor 2021).....</i>	45
<i>Figura 26. Escarificação e reciclagem do pavimento incluindo a base Km 5+700. (Autor 2021.).....</i>	46
<i>Figura 27. Processamento do material escarificado. (Autor 2021.).....</i>	46
<i>Figura 28. Compactação em camadas com recurso a cilindro e estabilização com cimento Portland 3%. (Autor 2021.).....</i>	47

Figura 29. <i>Rega de impregnação MC-30, e aplicação de Betão Betuminoso a Quente. (Autor 2021.)</i>	47
Figura 30. <i>Compactação e abertura ao tráfego. (Autor 2021.)</i>	48
Figura 31. <i>Fissuras do tipo pele de crocodilo. (Autor 2021.)</i>	49
Figura 32. <i>Fissura Longitudinal. (Autor 2021.)</i>	49
Figura 33. <i>Afundamento do trilho. (Autor 2021.)</i>	50
Figura 34. <i>Exsudação do pavimento. (Autor 2021.)</i>	51
Figura 35. <i>Remendos. (Autor 2021.)</i>	51
Figura 36. <i>Desagregação da superfície. (Autor 2021.)</i>	52
Figura 37. <i>Quebra de bordo. Autor 2021.</i>	52
Figura 38. <i>Buracos. (Autor 2021.)</i>	53
Figura 39. <i>Marcação, Corte e remoção de todo o material danificado e a limpeza do fundo do buraco. (Autor 2021.)</i>	53
Figura 40. <i>Rega de impregnação MC30 (80/100), Aplicação do Betão Betuminoso e regularização. (Autor 2021.)</i>	54
Figura 41. <i>Processo de Compactação. (Autor 2021.)</i>	54
Figura 42. <i>Buraco já remendado. (Autor 2021.)</i>	55
Figura 43. <i>Colheita de Amostras Tout-Venant (Base existente). Km2+058. (Autor 2023.)</i>	55
Figura 44. <i>Processo Para análise Granulométrica. (Autor 2023.)</i>	56
Figura 45. <i>Processo de Ensaio de limite Atterberg. (Autor 2023.)</i>	58
Figura 46. <i>Processo de Ensaio de Compactação. (Autor 2023.)</i>	59
Figura 47. <i>Processo de ensaio de CBR. (Autor 2023.)</i>	60
Figura 48. <i>Capacidade de carga dum pavimento. (ANE 2021)</i>	61
Figura 49. <i>Impacto do excesso de carga sobre a vida útil do pavimento. (MOPHRH.)</i>	62
Figura 50. <i>Horizontal and vertical contracted of alignment. (ANE 2017)</i>	72
Figura 51. <i>Secção tipo do pavimento, H3-T4-R. ESCALA: 1:100. (Autor 2023.)</i>	76

Lista de Tabelas

Tabela 1. <i>Composição do pavimento.</i>	7
Tabela 2. <i>Funções da fundação de um pavimento e respectivo mecanismo de degradação. (Maria da Conceição Azevedo, 2015)</i>	10
Tabela 3. <i>Principais tipos de intervenções impetradas nos pavimentos. (ANE 2021)</i>	15
Tabela 4. <i>Actividades da manutenção periódica. (ANE 2021)</i>	17
Tabela 5. <i>Actividades típicas de manutenção de rotina. (ANE 2021)</i>	18
Tabela 6. <i>Métodos de reparação de fissuras. (ANE 2021)</i>	33
Tabela 7. <i>Conceitos de materiais usados no tratamento de pavimentos asfaltados. (ANE 2021)</i>	37
Tabela 8. <i>Relatório de Recenseamento de Tráfego. (ANE, adaptado por Autor.)</i>	62
Tabela 9. <i>Resultados de ensaio de Próctor. (Autor 2023.)</i>	63
Tabela 10. <i>Resultado de Ensaio de resistência a Compressão do CBR. (Autor 2023.)</i>	63
Tabela 11. <i>Relação entre CBR-Teor óptimo de humidade-Baridade seca máxima. (Autor 2023)</i>	63
Tabela 12. <i>Resultados da Análise Granulométrica dos Solos. (Autor 2023.)</i>	64
Tabela 13. <i>Resultados de ensaio de Limites de consistência ou Atteberg. (Autor 2023.)</i>	65
Tabela 14. <i>Métodos propostos para resolução das patologias encontradas na N2. (Autor 2023)</i>	67

Resumo

O presente trabalho aborda aspectos técnicos usados para a recuperação de algumas patologias encontradas na estrada Nacional N2 no troço Boane – Mafuiane que interferem na qualidade do pavimento asfáltico da mesma. Consequentemente está via beneficia de alguns métodos de recuperação executivos, devido a intensidade do tráfego e intempéries das quais a mesma é submetida. Com observância em normas técnicas estabelecidas pelos órgãos que tutelam o sector de estradas, os processos construtivos foram sendo compostos para possibilitar o aumento do tempo de vida deste revestimento betuminoso. A via apresenta buracos, fissuras e outras patologias identificadas *in situ*, estas que colocam em risco a trafegabilidade, pondo em causa a segurança, conforto e comodidade e, se não forem adequadamente recuperadas, podem se tornar irreparáveis, exigindo deste modo com o passar dos anos que o pavimento seja reconstruído em toda a sua estrutura. Este trabalho identifica quais as mais apropriadas metodologias e técnicas para o reparo das degradações identificados, propondo métodos para melhores Resultados em observância as Normas Técnicas estabelecidas pela ANE, IP e SATCC.

Palavras-chave: Patologia; Pavimento asfáltico; Métodos de Recuperação de patologias.

Abstract

The present work addresses technical aspects used to recover some pathologies found on the National N2 road in the Boane – Mafuiane section that interfere with the quality of the asphalt pavement. Consequently, it benefits from some executive recovery methods, due to the intensity of traffic and bad weather from which it is triggered. In compliance with the technical standards set out by the bodies that oversee the road sector, the construction processes were composed to increase the lifespan of this bituminous coating. The road has holes, fissures and other pathologies identified in situ, which put trafficability at risk, putting safety, comfort and convenience at risk and, if they are not specially developed and recovered, they may become irreparable, thus requiring the passage of of the years that the pavement is rebuilt in its entire structure. This work identifies the most observed methodologies and techniques for repairing the identified degradations, proposing methods for better results in compliance with Technical Standards determined by ANE, IP and SATCC.

Keywords: Pathology; Asphalt pavement; Pathology Recovery Methods.

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.0. Introdução

Historicamente as estradas Nacionais, Regionais, Urbanas e terminais rodoviários são revestidas maioritariamente com asfalto e blocos de betão ou terraplenadas consoante os orçamentos e a disponibilidade do material, volume de tráfego, solicitações e sobrecargas do pavimento, a durabilidade que se pretende alcançar e frequência de manutenção pré-definida.

Os pavimentos rodoviários sofrem ao longo da vida útil um processo de degradação como consequência da acção das cargas resultantes da passagem do tráfego e das condições climatéricas.

O exponencial crescimento da sociedade leva por si só ao aumento do tráfego e com o passar do tempo por vários motivos, as vias vão se degradando. Num caso mais particular e tendo especial atenção à crise que se vive hoje em África e em Moçambique particularmente, esses aumentos são ainda agravados pelo crescente número de viaturas em circulação nas principais vias do país.

A rede de estradas classificadas da República de Moçambique, segundo a Administração Nacional de Estradas (ANE) no seu Relatório de Tráfego Rodoviário-2022, é de natureza funcional e consiste em cerca de 30 562 km dos quais, 20% são revestidas e 80% não revestidas e compreende as seguintes classes: 5 958 km de Estradas Primárias, 4 963 km de Estradas Secundárias; 12 764 km de estradas Terciárias e 6 876 km de estradas vicinais.

Considerando todos estes aspetos, é inevitável reconhecer a importância da Manutenção/Reabilitação/Beneficiação de qualquer pavimento na atualidade. Este processo tal como o de dimensionamento de um pavimento, deve responder a um estudo que procure equilibrar as condições de segurança, conforto e economia que sempre se procura.

Levando assim razões que podem conduzir ao desencadeamento de estudos que visem a construção/Reabilitação/manutenção de pavimentos que apresentem durabilidade e qualidade de execução, evitando assim o rápido aparecimento de insegurança na transitabilidade, capacidade de carga insuficiente, estado de degradação que ponha em causa a segurança e conforto ao utente da mesma.

1.1. Enquadramento

A manutenção de pavimentos é de vital importância na vida útil das infraestruturas rodoviárias existentes no País. No contexto macroeconómico actual, o destaque da manutenção é ainda mais acentuado, pelo que o estudo da génese das patologias nestas infraestruturas e respetiva solução é adequadamente contextualizado.

Neste trabalho é feita uma abordagem das diferentes patologias em pavimentos flexíveis que se podem encontrar nas diferentes literaturas. Posto isto, analisar-se-á um caso concreto, que é o escopo deste trabalho de culminação de curso e é referente a manutenção de pavimento flexível no Distrito de Namaacha em concreto na estrada Nacional N2 troço Boane a Mafuiane numa extensão de 7,5 km. Neste contexto far-se-á a análise dos tipos de patologias que a estrada apresenta, sua caracterização, metodologia adoptada e procedimentos seguidos para a correcção das mesmas com vista à recuperação do pavimento. Todo este procedimento é devidamente retratado, para que se possam observar as melhorias resultantes da intervenção assim como a apresentação de outras possíveis técnicas que poderiam ser consideradas no contexto da manutenção da via.

1.2. Relevância da Pesquisa

Perante o cenário descrito, os administradores rodoviários, governo ou concessionárias precisam realizar investimentos cada vez maiores, tanto na construção de novos pavimentos, como na recuperação de trechos que carecem de uma imediata intervenção, com o propósito de encontrar soluções que contemplem pavimentos mais resistentes, mais duráveis e que Requerem pequenas manutenções ao longo do período para o qual foram projetados. Consequentemente será assegurado, durante a vida de serviço do pavimento, conforto, segurança e comodidade aos usuários.

A estrada Nacional N2 é uma estrada que estabelece a ligação entre os distritos de Matola, Boane e Namaacha ambos da Província de Maputo e consequentemente a ligação entre Moçambique e o Reino de Eswatine, possui uma extensão de 71 quilómetros. Geograficamente, localiza-se a sul da Província de Maputo e é um corredor internacional com importância estratégica para a economia nacional, pois promove o desenvolvimento turístico, facilita a circulação de pessoas e escoamento de produção agrícola e exploração de diversos minérios daí que constitui prioridade do governo, pela sua importância económica.

Tendo em conta o grande volume de tráfego que a estrada comporta e as mudanças climáticas que se verificam nos últimos anos, a manutenção regular em quase toda a sua extensão é de vital importância para garantir as melhores condições de transitabilidade.

As diferentes patologias que a estrada apresentada tende a crescerem diariamente perigando a vida dos seus usuários e danificando as viaturas. Segundo ANE no seu seminário sobre aproveitamento de água em Projectos de estradas de 2017, refere que a disponibilidade financeira para a manutenção de estradas, os orçamentos dotados ao sector de estradas para as

actividades de manutenção tendem a decrescer de ano para ano, com a óbvia consequência no cumprimento dos princípios fundamentais de Preservação do bem público.

Posto isto, está claro que para melhor uso do hierárquico público, as intervenções as vias devem ser assertivas e económicas de formas a trazerem consigo melhorias e Durabilidade das mesmas.

1.3 Problema

A manutenção de estradas no nosso País tem-se mostrado um grande desafio para o sector de estradas, tendo em conta a disponibilidade de financiamento, parâmetros na escolha de empreiteiros para a melhor execução das actividades, levanda assim a intervenções cíclicas em estradas. Os pavimentos betuminosos carecem duma elevada técnica no que concerne a sua Concepção, Construção e Manutenção, técnicas estas que carecem de controlo tecnológico e de execução antes, durante e após as intervenções.

A péssima qualidade das manutenções e reabilitações das estradas feitas de betão asfáltico no nosso país e principalmente as estradas nacionais tendem a crescer e com elas arrastando avultadas somas de dinheiro na sua construção e manutenção, nos últimos tempos tem-se acompanhado intervenções cíclicas nas estradas do País o que é bom para o desenvolvimento do mesmo trazendo consigo maior nível de tráfego e como forma de descongestionar as demais vias, este desenvolvimento traz consigo grandes degradações das vias e a sua reabilitação muitas vezes acaba durando muito pouco tempo, podendo danificar os automóveis, reduzir o nível de circulação dos mesmos, dificultar o escoamento de produtos agropecuários, reduzir a velocidade de deslocamento dos automóveis, alongando a viagem dos passageiros, colocando em risco suas actividades e podem causar acidentes de viação cada vez mais ascendentes, provocando mortes e outros danos.

Este é o caso vivido em Moçambique, onde maior parte das estradas pavimentadas apresentam níveis altos de degradação, pois, maior parte da população deste País e em particular dos distritos de Boane e Namaacha em particular vive na base de actividades agro-pecuárias, praticadas principalmente nas zonas rurais, todavia, para poder escoar seus produtos, dependem das mesmas estradas que devem apresentar condições para o seu rápido escoamento. Assim, levanta se a seguinte questão de partida:

Qual é o método adequado para a recuperação das degradações encontradas no pavimento da estrada N2 entre o troço Boane-Mafuiane.

1.4 Justificativa

Na atualidade, Moçambique possui 20% de rede pavimentada, fundamentalmente constituída por pavimentos flexíveis, constatando-se que o volume previsível de construção de novas estradas tende a ser residual em contraste com a crescente necessidade de reabilitação dos pavimentos atualmente existentes e construção de novas estradas para responderem o volume de tráfego gerado pelo desenvolvimento económico do País.

Os pavimentos rodoviários flexíveis, novos e reabilitados, são projetados para manterem um determinado nível de serviço até se atingir um determinado número de passagens dum equivalente eixo-padrão. Esse número de passagens corresponde a um número de anos da vida útil do pavimento, normalmente dimensionado para uma vida útil de 15-20 anos, de acordo com as características do tráfego rodoviário considerado em projeto.

Após a construção, qualquer pavimento rodoviário fica imediatamente sujeito a ações que contribuem para a sua degradação, nomeadamente, ações resultantes do tráfego rodoviário e ações dos agentes climatéricos.

A degradação traduz-se pela perda de qualidade do pavimento, em termos de condições de conforto, segurança e capacidade de carga.

Nas situações em que a vida útil do pavimento se vê comprometida e portanto antecipada, a estratégia economicamente mais vantajosa seria intervir o pavimento de modo a corrigir o erro entre a vida útil prevista em projeto e a degradação prematura, reduzindo com isso os custos de uma futura intervenção mais aprofundada (conservação preventiva).

As intervenções a nível funcional, por norma, têm o benefício de ter uma curta duração de execução, serem mais económicas e ainda permitirem estender a vida útil do pavimento rodoviário.

1.5 Hipóteses

1.5.1 Hipótese Geral

- ❖ A existência de métodos específicos para a correcção de patologias em pavimentos.

1.5.2 Hipóteses secundárias

- ❖ A não existência de métodos específicos para a correcção de patologias em pavimentos;
- ❖ Deficiente manutenção pode estar na origem da acelerada degradação do pavimento;
- ❖ Efeito das mudanças climáticas resulta na degradação acelerada do pavimento;
- ❖ Falta de rebaixamento de bermas na contribuição de concentração de água pluvial no pavimento.
- ❖ O aumento do volume de tráfego associado ao elevado peso do mesmo, pode estar na origem da degradação do pavimento

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo Geral

- ❖ Propor os métodos de recuperação das degradações no pavimento da estrada Nacional N° 2 entre o troço Boane a Mafuiane.

1.6.2 Objetivos específicos

- ❖ Indicar os métodos de correcção das principais patologias da Estrada N2, troço: Boane a Mafuiane.
- ❖ Analisar as patologias existentes no pavimento;
- ❖ Identificar o melhor método de correção a adoptar.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.0 Fundamentação teórica

De acordo com GUIMARES (2004), define estrada como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos.

As estradas são entendidas como elementos geográficos presentes nas paisagens rurais.

Existem, desde caminhos primitivos ou vias modernas com grande infraestrutura, permitiram e permitem a interligação entre regiões, influenciando no aspecto social, económico e cultural das nações (PIMENTA & OLIVEIRA, 2004).

Em Bernucci et al. (2006) pavimento é caracterizado como uma estrutura composta por múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a última superfície de terraplanagem, cuja destinação técnica e econômica é receber os esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima e redistribuí-los para os solos da fundação, além de propiciar melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Segundo SANTANA (1993), Pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

Para SOUZA (1980), Pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações.

Essencialmente os pavimentos desempenham as seguintes funções:

- ❖ Funções estruturais – resistirem ou reduzir as solicitações que são alvo, para níveis compatíveis com a resistência da estrutura;
- ❖ Funções funcionais – criar uma superfície regular, com suficiente rugosidade e resistência ao desgaste, de modo a garantir segurança, economia e comodidade de circulação.

Tradicionalmente, os pavimentos são classificados de acordo com a função estrutural em dois tipos: rígidos e flexíveis. Yoder e Witczak (1975) e Croney e Croney (1991) são citados por Balbo (2007) como referências do emprego dessa classificação. Este autor, entretanto, considera esta divisão “tão crivada de limitações que acaba se tornando ineficiente”, afirmando necessária a recepção de classificações mais abrangentes e consistentes.

Bernucci et al. (2006) chama os pavimentos flexíveis de pavimentos asfálticos. De acordo com esses autores, os pavimentos asfálticos são formados por quatro camadas principais que repousam sobre o subleito: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, sendo o revestimento composto por uma mistura constituída de agregados e ligantes asfálticos.

Já os pavimentos rígidos, também chamados pavimentos de concreto de cimento Portland ou concreto-cimento para referirem-se aos pavimentos rígidos, possuem revestimento composto por uma placa de cimento Portland e a subcamada por um material granular, de resistência geralmente equivalente à sub-base de pavimentos asfálticos, sendo, por vezes, assim designado. (Bernucci et al., 2006)

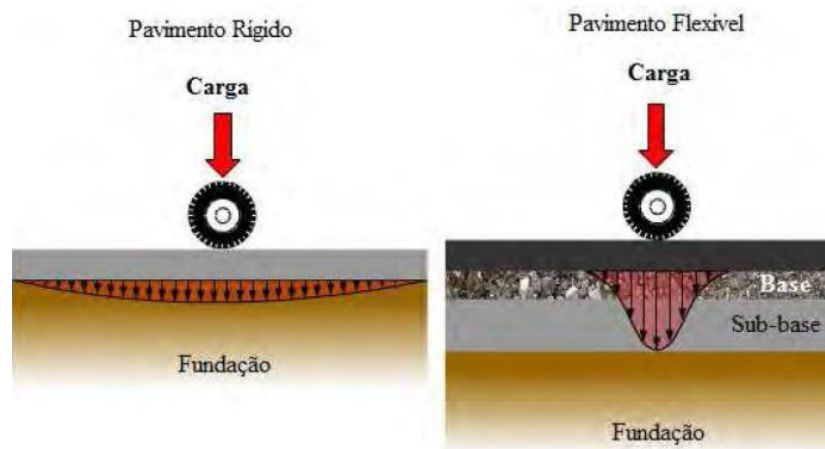


Figura 1. Distribuição das tensões num pavimento rígido e num pavimento flexível.

Fonte: Maia, 2009.

Existem também outros autores que defendem a existência de um terceiro tipo de pavimento e este chamado de pavimento semirrígido.

Segundo Medina e Motta (2005) o pavimento semirrígido ocorre quando um revestimento asfáltico é aplicado sobre uma base cimentada.

Tabela 1. Composição do pavimento.

Pavimento	Composição
Rígido	Camada de desgaste – laje de betão de cimento; Camada Sub-base – material tratado com cimento ou simplesmente material estabilizado mecanicamente.

Flexível	<p>Camada de desgaste – mistura betuminosa com betume como ligante;</p> <p>Camada de Regularização – mistura betuminosa com betume como ligante;</p> <p>Camada de Base – material granular não tratado ou tratada com ligante betuminoso;</p> <p>Camada Sub-base – material granular ou solos tratados com ligante betuminoso ou apenas estabilização mecânica.</p>
Semirrígido	<p>Camada de desgaste – mistura betuminosa com betume como ligante;</p> <p>Camada de Regularização – mistura betuminosa com betume como ligante;</p> <p>Camada base – material tratado com ligante hidráulico;</p> <p>Camada Sub-base – usualmente material granular britado ou solos, estabilizado mecanicamente.</p>

Os diferentes tipos de pavimentos descritos acima apresentam diferenças que se devem principalmente à forma como estes se comportam à flexão.

No caso dos pavimentos rígidos as deflexões são muito pequenas. A laje de betão apresenta elevada resistência e absorve grande parte das tensões impostas ao pavimento.

Os pavimentos Flexíveis experimentam grandes deflexões nas camadas superiores, têm como objetivo degradar as solicitações de forma a torna-las compatíveis com a capacidade de suporte das camadas ou camada granulares subjacentes ao solo de fundação.

Por último os pavimentos semirrígidos apresentam deformações reduzidas visto que possuem uma camada tratada com ligante hidráulico com deformabilidade reduzida e uma camada estabilizada que lhe confere resistência.

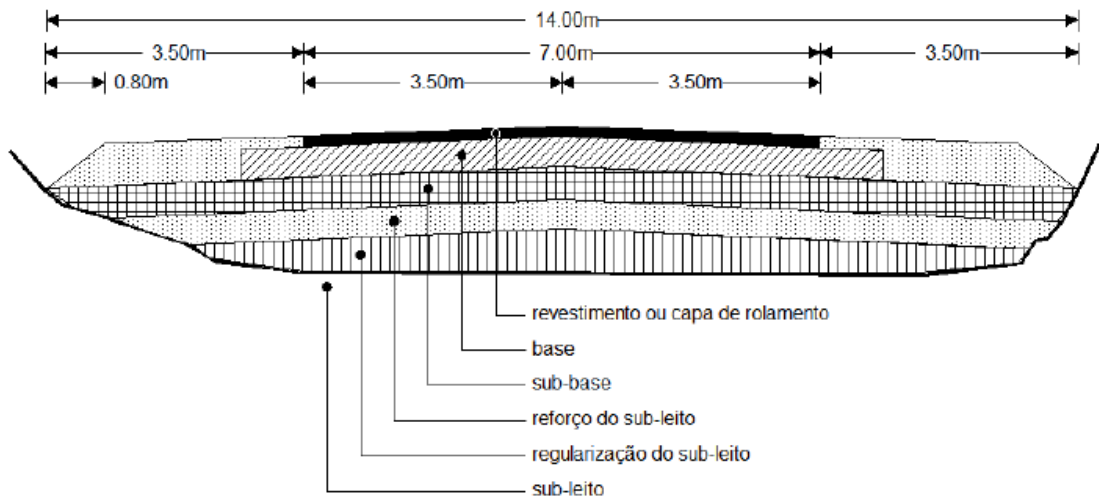


Figura 2. Seção típica de um pavimento Flexível. (Faleiros, 2005)

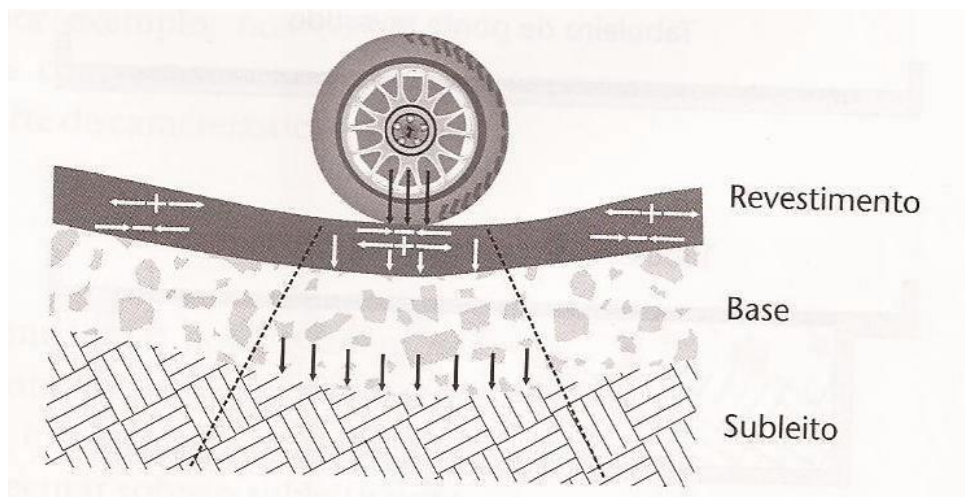


Figura 3. Pavimento rígido - Seção típica. (Balbo, 2007)

2.1 Concepção de Pavimentos

A principal função de um pavimento, nomeadamente o rodoviário, é oferecer uma superfície de rolamento livre e desempenada, destinada a permitir a circulação de veículos em adequadas condições de segurança, conforto e economia.

Um pavimento é por conseguinte uma estrutura constituída por um conjunto de multi-camadas colocadas sobre uma plataforma de suporte, como representado na figura 04 abaixo da plataforma, sobre a qual assenta o pavimento, tem-se a fundação do pavimento, geralmente constituída pelo solo de fundação e pelo leito do pavimento.

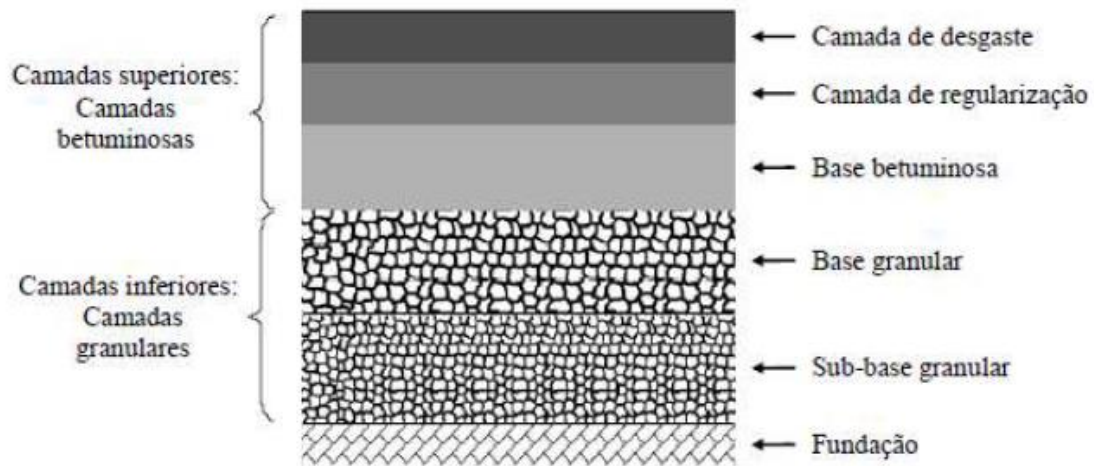


Figura 4. Diagrama esquemático da estrutura de um pavimento rodoviário. (Balbo 2007)

2.2. Função da Fundação e das Camadas de um Pavimento

Na tabela 2 - apresentam-se as funções da fundação de um pavimento e respectivo mecanismo de degradação.

Tabela 2. Funções da fundação de um pavimento e respectivo mecanismo de degradação. (Maria da Conceição Azevedo, 2015)

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO	FUNÇÃO	MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO
TERRENO DA FUNDAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Suporte do pavimento a) São as suas características que condicionam o dimensionamento 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Deformação permanente excessiva; ❖ Rotura dos taludes de aterro.
LEITO DO PAVIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Evitar deformação do solo ❖ Homogeneidade das características mecânicas da fundação ❖ Plataforma construtiva 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Deformação permanente Excessiva.

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Possibilidade de compactação das camadas subjacentes em adequadas condições 	
SUB-BASE	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Proteger durante a fase construtiva as camadas inferiores ❖ Proteger a base da subida de água capilar ❖ Drenagem interna do pavimento ❖ Camada estrutural ❖ Resistência à erosão 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Deformação permanente excessiva.
BASE	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Camada estrutural ❖ Degradação das cargas induzidas pelo tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Deformação permanente excessiva (materiais não tratados); ❖ Fendilhamento por fadiga (materiais tratados com ligantes); ❖ Fendilhamento térmico (materiais tratados com ligantes hidráulicos);
DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Adequada circulação do tráfego com conforto e segurança ❖ Drenagem ou impermeabilização 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Desgaste provocado pela acção do tráfego e condições climáticas; ❖ Deformação permanente em condições excessivas

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> de temperatura e tráfego; ❖ Fendilhamento por ascensão das fendas das camadas subjacentes; ❖ Fendilhamento por fadiga devida a uma má aderência à camada subjacente ❖ Fendilhamento térmico
GRANULAR	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Módulo de deformabilidade ❖ Resistência à deformação permanente 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Compactação ❖ Tratamento in situ ❖ Tratamento em central
REGULARIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Módulo de deformabilidade ou Rigidez ❖ Resistência à deformação permanente ❖ Resistência à fadiga 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Compactação ❖ Adequada formulação

2.2.1 Objectivo do Pavimento

Citado por Marina Quirino, Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o objetivo maior do pavimento é atender, adequadamente às suas funções básicas. Por este motivo ele deve ser concebido, projetado, construído e conservado de forma a apresentar, invariavelmente, níveis de serventia compatíveis e homogêneos, em toda a sua extensão, os quais são normalmente avaliados através da apreciação de três características gerais de desempenho: a segurança, o conforto e a economia (de manutenção, operação e segurança).

Assim, a manutenção do pavimento se constitui no conjunto de operações que são desenvolvidas objetivando manter ou elevar, a níveis desejáveis e homogêneos as características gerais de desempenho, considerando todos os componentes do pavimento.

É válido acrescentar, segundo Balbo (2007), que os materiais de construção, no decorrer de sua vida útil de serviço, apresentam processos de danificação e deterioração (degradação) inevitáveis que, paulatinamente, implicam a alteração de suas propriedades mecânicas, ou seja, aquelas que governam seu comportamento sob ações de diversas naturezas. Tal fato se traduz nos materiais de camadas de pavimentos, sendo sua degradação motivada por cargas de veículos, produtos químicos e ações ambientais como temperatura, humidades, etc.

2.3. Deterioração dos Pavimentos

Os pavimentos não são concebidos para durarem eternamente, mas apenas para um determinado período. Durante cada um destes períodos ou “ciclos de vida”, o pavimento inicia numa condição ótima até alcançar uma condição ruim. O entendimento dos mecanismos que regem o processo de deterioração de um pavimento é condição essencial para a identificação das causas que o levam a sua condição actual, bem como para a escolha e programação da técnica mais adequada para a sua reabilitação.

Segundo DARONCHO (2001), a abordagem dos defeitos na superfície de pavimentos relaciona-se com a qualidade de viagens numa estrada, os define como desarranjos que contribuem para aumentar ou gerar desconforto ao usuário da estrada ou impedir o tráfego de veículos pela mesma.

Os defeitos podem ser associados em duas classes: estrutural e funcional.

Um defeito de classe estrutural está associado à diminuição da capacidade do pavimento no suporte de cargas, em perder sua integridade estrutural.

Os defeitos de classe funcional estão relacionados às condições de segurança e transitabilidade do pavimento em termos de rolamento (DNIT, 2006). Os defeitos de superfície, que são defeitos da classe funcional, podem ser identificados a olho nu e classificados segundo uma terminologia normalizada (DNIT 005/2003-TER-DNIT, 2003).

O levantamento dos defeitos de superfície tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos, permitindo um diagnóstico da situação funcional.

Com isso permite estabelecer soluções tecnicamente adequadas, indicando as melhores alternativas para a manutenção ou restauração do pavimento.

Os defeitos de superfície aparecem precocemente (devido a erros ou inadequações) ou a médio ou longo prazo (devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries).

As causas para a deterioração do revestimento são associadas à ação do tráfego (carga por eixo, tipo de rodagem, pressão de enchimento dos pneus e tipo de suspensão) e as solicitações climáticas (variação de temperatura e teor de umidade). Esses danos ocasionam constantes atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos deteriorados.

As causas da degradação dos pavimentos podem ser separadas em três grupos:

- a) Cargas excessivas;
- b) Condições climáticas e de ambiente;
- c) Alteração das condições inicialmente consideradas.

ANE. (2021 p.48)

Cargas excessivas

Neste grupo incluem-se as tensões excessivas, consideradas quer em valor próprio quer em número de repetições (isto é, por um lado, cargas por eixo excessivas, originando deflexões exageradas, tensões superiores aos limites, corte por insuficiência de coesão ou espessura duma camada ou deformabilidade excessiva desta, devido à consolidação ou ao escasso atrito interno; por outro lado, exagero do número de repetições com a consequente fadiga, ou martelamento dum revestimento de espessura insuficiente). ANE. (2021 p.48)

Condições climáticas e de ambiente

Neste grupo englobam-se as condições climáticas e de ambiente tais como as variações de temperatura e de teor de água. Com efeito, as variações de temperatura podem provocar variações de volume e de resistência de alguns materiais. Quanto às variações de teor de água, devido às precipitações, evaporações, permeabilidade das camadas, capilaridade e drenagem, podem provocar também variações de volume e de resistência de certas camadas, e plastificação de alguns materiais. ANE. (2021 p.48)

Alteração das condições inicialmente consideradas

Neste grupo pode incluir-se a fragilidade estrutural ou degradação das características dos materiais, resultante da fadiga e do envelhecimento dos mesmos, bem como do desgaste interno. Neste grupo podem também incluir-se as técnicas construtivas deficientes, ou o controlo de construção deficiente, os quais podem conduzir a excessos ou insuficiência de ligante, à acumulação de água nas camadas de fundação, à aplicação de materiais de má qualidade, etc.

De modo análogo, para certos casos de danificações, parece poder contribuir a deficiente ou insuficiente conservação, como por exemplo a omissão de selagem das fendas e a deficiente conservação das bermas. O próprio dimensionamento dos pavimentos pode conduzir à respectiva degradação, dada a dificuldade em ter em conta muitas das variáveis intervenientes, e respectiva influência, ou por serem falseadas as condições de aplicação dos métodos de dimensionamento na fase de construção.

Podem ainda concorrer para a degradação vários factores simultaneamente, tornando-se difícil definir qual a parte de responsabilidade que cabe a cada um deles. ANE. (2021 p.49)

Muitas autoridades rodoviárias e/ou locais desenvolveram sistemas de classificação de defeitos e estabeleceram padrões de intervenção para cada defeito. Neste manual, para os defeitos em pavimentos flexíveis betuminosos serão considerados os procedimentos da Norma ASTM D6433. ANE. (2021 p.49)

2.4. Manutenção, conservação e reabilitação de Pavimentos flexíveis.

A partir do momento da implantação de uma estrutura de pavimento, cabe ao órgão responsável pela sua gestão identificar e efectuar as actividades de manutenção necessárias, de modo a permitir que o tráfego possa fluir de forma segura, rápida, confortável e económica. ANE (2011)

De acordo com DNEP (1998), em Moçambique manutenção de estrada é uma actividade contínua que visa garantir e manter a estrada em boas condições.

Segundo o DNER a conservação adequada e no tempo devido poderá prolongar a vida útil dos pavimentos, mantendo-os sempre em boas condições, de modo a proporcionar conforto e segurança ao usuário da via.

As operações relacionadas com a conservação dos pavimentos betuminosos visam corrigir falhas e defeitos resultantes do desgaste natural e recuperar as partes deterioradas do pavimento fruto do comportamento insatisfatório dos elementos componentes da rodovia.

De acordo com F. Gonçalves, a manutenção de um pavimento compreende todas as intervenções que afectem, directa ou indirectamente, o nível de serventia actual e/ou o desempenho futuro do pavimento. A manutenção pode ser de dois tipos fundamentais: a conservação e a restauração. Um terceiro tipo de intervenção, utilizado quando não se pode aproveitar o pavimento existente, é a reconstrução. As definições relativas aos principais tipos de intervenções impetradas nos pavimentos estão apresentadas abaixo:

Tabela 3. Principais tipos de intervenções impetradas nos pavimentos. (ANE 2021)

Conservação:	Consiste em intervenções que visam a correcção total ou parcial de deficiências funcionais e/ou a protecção da estrutura do pavimento contra uma degradação mais acelerada durante os anos seguintes.
Restauração:	É o processo de se trazer a condição funcional a níveis aceitáveis por meio de intervenções que sejam técnica e economicamente adequadas, o que implica que a durabilidade e o desempenho da solução implementada devem satisfazer requisitos mínimos, além de levarem a um retorno máximo do investimento realizado, dentro das restrições técnicas e operacionais existentes. A restauração requer, portanto, a execução de um projecto de engenharia completo e consistente.
Reconstrução:	<p>Consiste na remoção total do pavimento existente e é utilizada quando:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Os custos de uma restauração superam o da reconstrução do pavimento; ❖ Não há confiabilidade suficientemente aceitável para o desempenho do pavimento restaurado; ❖ O pavimento deve ser restaurado, havendo também uma mudança de traçado na rodovia, motivada, por exemplo, pela necessidade de uma elevação do padrão operacional.

2.4.1 Manutenção de pavimentos flexíveis

De acordo com (Senço, 2001 cit in Massaro, 2005), a reabilitação procura prolongar a vida útil do serviço do pavimento, elevando o nível de serventia próximo ao valor máximo e criando condições para o novo ciclo de deteriorações.

Para CABRAL (2011), manutenção é o conjunto de operações destinadas a preservar as características técnicas e operacionais de uma estrada ou obra – de - arte de acordo com sua concepção original.

Segundo Departamento Nacional De Infraestrutura E Transportes (Dnit,2011), reabilitação constituem um amplo espectro de intervenções, efectuadas com o objectivo de adequar a estrada às necessidades constatadas ao longo de sua vida de serviço. São intervenções de adequação e aumento da capacidade de intersecções, alargamento de plataforma, etc. A própria duplicação de uma estrada pode ser considerada um melhoramento, tendo em vista que proporciona uma adequação da mesma a novas exigências, em termos de capacidade de tráfego.

2.4.2. Manutenção Periódica

De acordo com as normas ANE (2021), manutenção periódica é o conjunto de operações de conservação realizadas periodicamente, com o objectivo de evitar o surgimento ou o agravamento de defeitos, reduzindo os requisitos de uma intervenção mais substancial. A manutenção periódica compreende atividades cíclicas, geralmente de um tipo mais caro do que as da manutenção de rotina. A necessidade dessas atividades podem ser previstas e o trabalho planeado.

A manutenção periódica está planeada para ser realizada em intervalos de acordo com o processo normal de gestão do ciclo de vida do pavimento. Tais trabalhos destinam-se a restabelecer a condição superficial ou funcional do pavimento, para impermeabilização ou resistência à derrapagem, sem aumentar a capacidade de carga. Em alguns casos, os trabalhos de manutenção periódica podem incluir sobreposições de natureza estrutural para garantir pelo menos a vida útil original e que podem prolongar a vida útil do pavimento.

Tabela 4. Actividades da manutenção periódica. (ANE 2021)

As actividades periódicas de manutenção periódica incluem:

- ❖ Revestimento de asfalto;
- ❖ Revestimento superficial betuminoso;
- ❖ Microrrevestimento;
- ❖ Tratamento de enriquecimento ou rejuvenescimento;

- ❖ Reparação de passeios;
- ❖ Reconfiguração de plataformas de estradas não revestidas;
- ❖ Recarga de bermas não revestidas.

2.4.3. Manutenção de Rotina

De acordo com as normas de execução da ANE (2021), Manutenção de rotina é o conjunto de operações de conservação realizadas com objectivo de reparar um defeito e restabelecer o funcionamento da componente da estrada, garantindo conforto e segurança aos usuários. É o grupo de actividades que, devido à sua extensão, prazo e meios de execução, não são passíveis de planeamento detalhado. A extensão de cada atividade individual é geralmente pequena e é difícil prever a localização e o tempo exactos. Consequentemente, a rede rodoviária deve ser monitorizada regularmente para detectar defeitos. As reparações necessárias são anotadas e programadas para atribuição a uma equipa de manutenção de rotina.

Um requisito fundamental de qualquer sistema de gestão de manutenção é que programas de inspecção de rotina sejam estabelecidos, parâmetros-chave de desempenho sejam claramente descritos, incluindo aqueles relacionados a aspectos ambientais e de segurança, e registros de inspecções e quaisquer reparos realizados. Isso não serve apenas para auxiliar na avaliação futura do desempenho dos trabalhos realizados e nas tendências históricas dos custos, mas também para auxiliar em possíveis reivindicações futuras de litígios.

Tabela 5. Actividades típicas de manutenção de rotina. (ANE 2021)

As actividades típicas de manutenção de rotina incluem:

- ❖ Superfícies betuminosas - remendo de buracos, fechamento de fissuras, varredura, reparos de quebras de borda;
- ❖ Estrutura do pavimento - remendo (escavação e substituição), correção da forma da superfície, estabilização (zonas localizadas), classificação da berma;
- ❖ Elementos de drenagem tais como valetas, aquedutos, colectores, caixas de inspecção, drenagem subterrânea, passagens molhadas - limpeza, substituição, verificação de erosões;
- ❖ Corte de vegetação à beira da estrada, recolha de lixo, varredura, reparos nas estruturas de retenção;
- ❖ Sinais de trânsito - limpeza, reparações, substituição, pintura;

- ❖ Marcações de pavimentos - repintar, substituir marcadores reflectivos de pavimentos
- ❖ Sinais, serviços de iluminação, reparações.

2.4.4. Manutenção de Emergência

São operações realizadas eventualmente, com o objetivo de recompor, reconstruir ou restaurar trechos que sofreram obstrução ou avaria, causados pela ocorrência de um evento extraordinário, colocando em risco o tráfego ou ocasionando sua interrupção. (BRASIL, 2005, p. 99). As principais tarefas integrantes são a recomposição de aterro e remoção de barreira em solo, podendo ser manual ou mecanizada, conforme tabela seguinte.

Atividades da conservação de emergência.

Serviços	Descrição
Recomposição de aterro	Recomposição de partes erodidas de aterros, objetivando a restauração do terrapleno e preservação do corpo da estrada.
Remoção de solo	Remoção do material deslizado de taludes de corte sobre a plataforma da rodovia, de forma manual ou mecanizada.

Fonte: Adaptado do BRASIL (2005, p. 105).

2.5 Defeitos em pavimentos asfaltados

A classificação dos defeitos em pavimentos flexíveis asfaltados pode ser dividida em três grupos: Defeitos de Superfície, Fendilhamento e Deformações. Cada grupo desdobra-se em vários tipos de defeitos, como ilustra o diagrama da Figura 06. ANE. (2021)

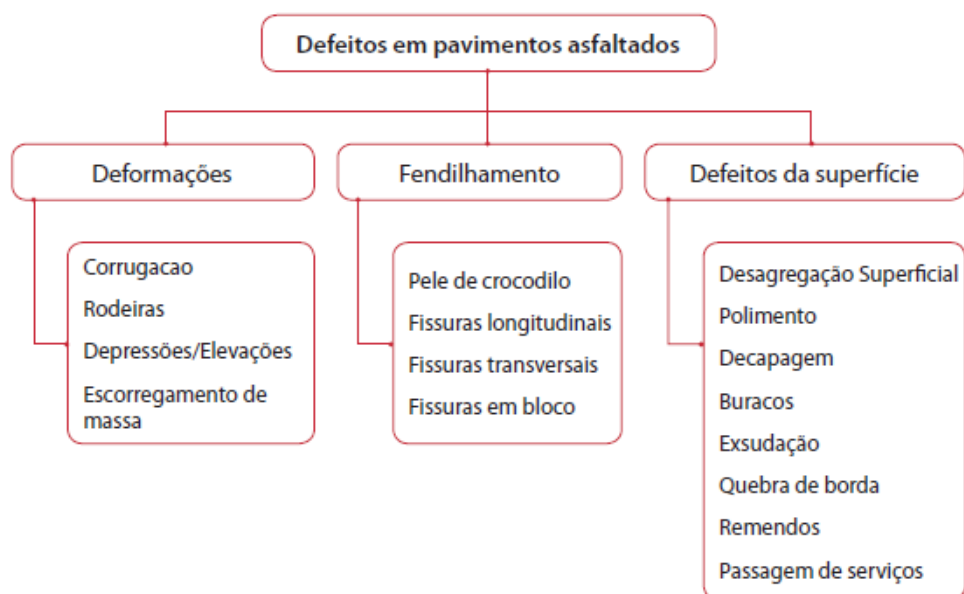


Figura 5. Organograma de Defeitos em pavimentos asfaltados. (ANE 2021)

2.5.1 Defeitos de Superfície

2.5.1.1 Desagregação superficial

Definição

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento e/ou da argamassa fina do revestimento asfáltico, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

Considera-se pela designação genérica “desgaste”, a perda de agregados e/ou argamassa fina do revestimento asfáltico. Caracteriza-se pela aspereza superficial anormal, com perda do envolvimento betuminoso e arrancamento progressivo dos agregados.

Causas

- ❖ Redução da ligação existente entre o agregado e o ligante devido à oxidação do ligante e pela acção combinada do tráfego e das adversidades climáticas;
- ❖ Perda de adesividade entre agregado e ligante devido à presença de poeira ou sujidade no momento da construção;
- ❖ Execução da obra em condições meteorológicas desfavoráveis;
- ❖ Presença de água no interior do revestimento que originam sobrepressões hidrostáticas capazes de provocar o descolamento da película betuminosa;
- ❖ Deficiência localizada de ligante asfáltico nos serviços por penetração decorrente de entupimento dos bicos ou má afinação da barra espargidora.

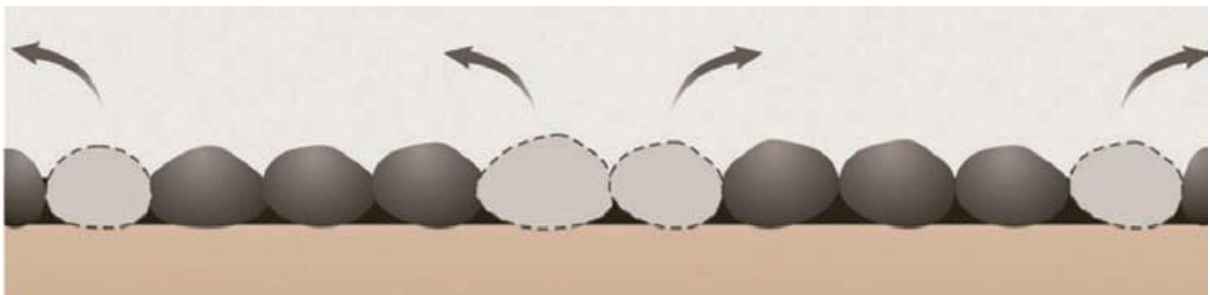


Figura 6. Mecanismo da desagregação do revestimento. (ANE 2021)



Figura 7. Desagregação da superfície. (ANE 2021)

Mecanismo de ocorrência

Em resultado das causas prováveis acima enumeradas, o ligante asfáltico fica impossibilitado de promover a retenção dos agregados que se soltam progressivamente sob a acção das cargas de tráfego.

Localização

Pode ocorrer em toda a área da superfície do pavimento.

2.5.1.2 Buracos

Definição

Os buracos são cavidades formadas inicialmente no revestimento do pavimento e possuem dimensões e profundidades variadas. O defeito é muito grave, pois afecta estruturalmente o pavimento, permitindo o acesso das águas superficiais ao interior da estrutura. Também é grave do ponto de vista funcional, já que afecta a irregularidade longitudinal e, como consequência, a segurança do tráfego e o custo do transporte.



Figura 8. Buracos. (ANE 2021)

Causas

- Pequeno defeito que piora com a infiltração de água no material da base;
- Perda de superfície devido a outros defeitos (por exemplo, desgaste, decapagem, fissuras e/ou laminação);
- Material da base inadequado;
- Desintegração da base associada à carga;
- Adesão e recolhimento de aglutinantes nos pneus dos veículos;
- Subida de água pela acção do tráfego (bombeamento).

Mecanismo de ocorrência

As fissuras de fadiga, à medida que evoluem, sofrem um processo de interligação, formando pequenas placas sem vínculo e com bordas desgastadas. Com a passagem das cargas de tráfego, estas placas vão sendo arrancadas, formando buracos no revestimento, os quais podem evoluir ao ponto de atingir a base do pavimento. A água superficial, que já possuía acesso até a base através das trincas, terá ainda maior facilidade de alcançar essa camada. A água sob pressão irá carrear o material mais fino da base e agravar o problema. No caso de desintegração, o processo é semelhante.

Localização

Podem ocorrer em qualquer área do revestimento, principalmente nas trilhas de roda.

Reparação

- Execução de remendos com massas asfálticas (a quente ou a frio);
- Reconstrução localizada das camadas comprometidas e melhoria da drenagem.

2.5.1.3. Exsudação

Definição

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.

A exsudação é um fenómeno em que uma película ou filme de material betuminoso se forma na superfície do pavimento e caracteriza-se por manchas de variadas dimensões. As manchas resultantes comprometem seriamente a aderência do revestimento aos pneus, principalmente sob tempo chuvoso, causando um sério problema funcional.

Causas

- Excesso de ligante;
- Ligante inadequado;
- Penetração do agregado numa base suave;
- Quebra do agregado;
- Classificação inadequada do asfalto;
- *Design* de tipo ou mistura;
- Reação do revestimento superficial antigo;
- Asfalto/revestimento colocado antes dos voláteis do primário terem evaporado;
- Má penetração do primário na base granular;
- Derrames de óleo e combustível.



Figura 9. Exsudação do ligante do revestimento. (ANE 2021)

Mecanismo de ocorrência

Com a acção do tráfego e de altas temperaturas, o cimento asfáltico da mistura irá expandir-se, ocupando os vazios não preenchidos. Desta forma, ocorre a migração e a concentração do ligante na superfície do revestimento. A passagem das cargas poderá causar um aumento da densificação da mistura nas trilhas de roda (redução do volume de vazios) e aumentar a exsudação.

Localização

A exsudação poderá manifestar-se em qualquer região da superfície do pavimento, sendo mais severa nas trilhas de roda.

2.5.1.4 Remendos

Porção do revestimento onde o material original foi removido e substituído por outro material (similar ou diferente). Os remendos existentes são geralmente considerados falhas, já que reflectem o mau comportamento da estrutura original, gerando normalmente um incremento na irregularidade longitudinal. Deverá ser avaliada também a deterioração da área remendada. Os remendos são considerados defeitos quando provocam desconforto.

Causas

Solicitação intensa do tráfego; emprego de material de má qualidade; agressividade das condições ambientais; problemas no processo construtivo.

Mecanismo de ocorrência

Os remendos, assim como os pavimentos, deterioram-se por diversos mecanismos, ou seja, a acção combinada do tráfego e das condições ambientais.



Figura 10. Remendos em pavimento. (ANE 2021)

Localização

Em qualquer lugar, onde ocorre deterioração localizada do pavimento.

2.5.2 Defeitos Caracterizados por Deformações

2.5.2.1 Corrugações/ Ondulações

Definição

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais de carácter plástico e permanente na superfície do pavimento.

Causas

As causas de ondulações no pavimento podem ser:

- Instabilidade da mistura betuminosa da camada de revestimento e/ou da base de um pavimento;
- Excesso de humidade das camadas subjacentes;
- Contaminação da mistura asfáltica por materiais estranhos;
- Retenção de água na mistura asfáltica.



Figura 11. Corrugações/Ondulações em pavimentos asfaltados. (ANE 2021)

Mecanismo de ocorrência

Ocorre devido à ruptura por cisalhamento no revestimento ou na interface entre o revestimento e o material de base, ocasionado pelas cargas de tráfego.

Localização

Normalmente apresenta-se nas regiões de aceleração ou de travagem dos veículos. Podem ocorrer em qualquer região da superfície, porém, com maior gravidade nas proximidades das trilhas de rodas.

2.5.2.2 Rodeiras

Definição

Rodeiras são deformações associadas à carga e aparecerão como depressões longitudinais nos trilhos da roda. As rodeiras podem ser classificadas em dois tipos: afundamento por consolidação e afundamentos plásticos.

a) Rodeiras resultantes de afundamentos por consolidação

É uma depressão do revestimento, resultado de uma acumulação de deformações verticais não recuperáveis nas camadas do pavimento e fundação. Na sua fase inicial, esta falha só é perceptível após a ocorrência de chuvas, pois os sulcos ficam preenchidos por água. Este tipo de rodeiras não está associado a cordões nas camadas superiores do pavimento, a menos que se torne muito severo. Até certo limite, estas rodeiras são toleráveis, porém, quando a acumulação das deformações permanentes formam flechas expressivas nos trilhos da roda, a estrutura estará num estado terminal e pondo em risco a segurança dos utilizadores.

Causas das rodeiras por consolidação

- Compactação insuficiente de uma ou mais camadas durante a construção;

- Mistura asfáltica inadequada (com baixa estabilidade);
- Enfraquecimento de uma ou mais camadas devido à infiltração de água.

Mecanismo de ocorrência

A origem e o progresso das rodeiras por consolidação podem estar relacionados com a Ocorrência de:

- Consolidação, compactação suplementar, ou movimentação lateral das camadas abaixo do revestimento, devido à acção canalizada do tráfego;
- Compactação do revestimento asfáltico ocasionada pelas cargas de tráfego.

Localização

Nos locais onde há passagem de tráfego.

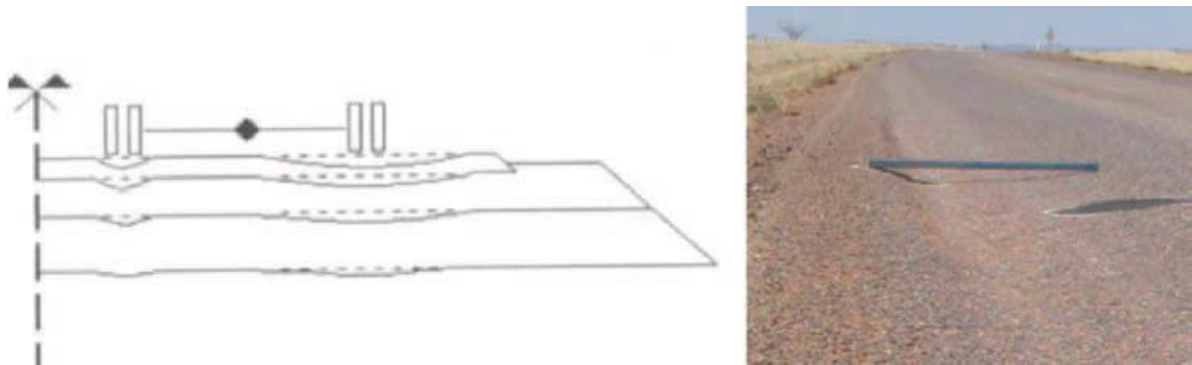


Figura 12. Esquema e foto de rodeira com deformação consolidada, revestimento superficial. (ANE 2021)

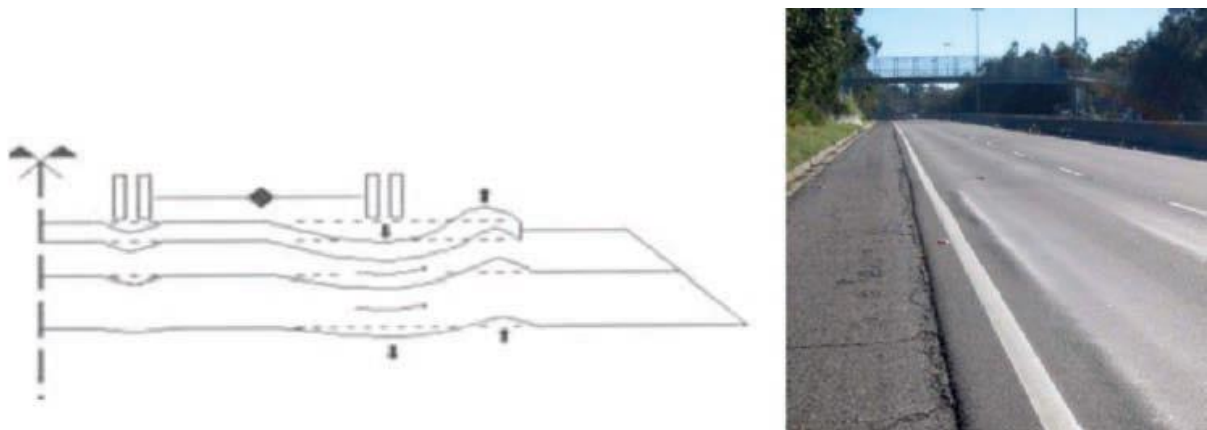


Figura 13. Mecanismo e foto de rodeiras com deformação plástica, em pavimento asfáltico. (ANE 2021)

Causas das rodeiras com deformações plásticas

A ruptura de uma ou mais camadas do pavimento devido à acção das cargas de tráfego.

- Compactação deficiente, permitindo o assentamento do material;
- Drenagem inadequada;
- Movimento de humidade;

- Qualidade inadequada do material;
- Fluência plástica do revestimento asfáltico devido a altas temperaturas em conjunção com o tráfego;
- Instabilidade do aterro.

Mecanismo de ocorrência

A depressão tem início com a ruptura de uma ou mais camadas do pavimento, acompanhada de um sollevamento ou elevação lateral ocasionado pela distorção e movimentação das partículas envolvidas no processo de ruptura plástica.

2.5.3 Defeitos caracterizados por Fendilhação

2.5.3.1 Fissuras do tipo pele de crocodilo

Definição

Conjunto de fissuras interligadas sem direcção preferencial, assemelhando-se ao aspecto de couro de crocodilo. Essas fissuras podem apresentar ou não erosão acentuada nas bordas.



Figura 14. Fissuras do tipo pele de crocodilo. (ANE 2021)

Causas

As causas das fissuras do tipo crocodilo podem estar associadas aos seguintes aspectos:

- Espessura inadequada do pavimento / projecto estrutural;
- Fadiga do revestimento asfáltico;
- Acção repetida das cargas de tráfego;
- Defeitos de construção;
- Material da base de baixa qualidade;
- Base ou superfície que se torna quebradiça;
- Perda de suporte nas camadas inferiores devido à má drenagem.

Mecanismo de ocorrência

As cargas de tráfego provocam um ciclo de carregamento/alívio no pavimento, causando o fraccionamento das fibras inferiores do revestimento (ou da base estabilizada). O fissuramento inicia, portanto, na face inferior do revestimento ou da base estabilizada, onde ocorrem as maiores tensões e deformações geradas pelas cargas rodoviárias.

As fissuras propagam-se para a superfície, inicialmente como uma ou mais fissuras longitudinais paralelas. Estas fissuras conectam-se com o acréscimo da repetição das cargas e tráfego, formando rendilhados que lembram o couro de um crocodilo.

Localização

Geralmente, este defeito limita-se a ocorrer nas regiões em que há maior concentração de passagem de cargas de tráfego (principalmente nos trilhos de roda), todavia, poderão aparecer nas demais áreas do revestimento, desde que submetidas ao carregamento. A fissuração por fadiga não ocorre em estruturas com bases cimentadas.

2.5.3.2 Fissuras longitudinais

Definição

Fissura isolada que apresenta direcção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada fissura longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se fissura longitudinal longa.

Causas

- Junta de construção mal feita;
- Contração/dilatação do revestimento devido ao gradiente térmico ou envelhecimento do asfalto;
- Propagação das fissuras existentes nas camadas subjacentes, como por exemplo das bases tratadas com cimento ou juntas de revestimentos rígidos (fissuras por reflexão);
- Fissuras de cima para baixo.



Figura 15.Fissuras longitudinais. (ANE 2021)

Mecanismo de ocorrência

O mecanismo da fissura longitudinal depende da causa, mas não está associada à acção das cargas de tráfego. Porém, o ingresso de águas e acção do tráfego aceleram o processo de deterioração da mesma.

Localização

Em qualquer local da estrada, paralelamente ao eixo.

Reparação

- Fechamento das fissuras;
- Para casos muito acentuados, podem ser aplicadas as soluções de reparação das fissuras de pele de crocodilo.

2.5.3.3 Fissuras transversais

Definição

Fissura isolada que apresenta direcção predominantemente ortogonal ao eixo da via.

Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada fissura transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se fissura transversal longa.

Causas

- Contração/dilatação do revestimento devido ao gradiente térmico ou envelhecimento do asfalto;
- Propagação das fissuras existentes nas camadas subjacentes, como por exemplo das bases tratadas com cimento ou juntas de revestimentos rígidos (fissuras por reflexão);
- Fissuras de cima para baixo;
- Humidade na estrutura do pavimento;
- Assentamento de serviços subterrâneos;
- Intrusão das raízes das árvores.

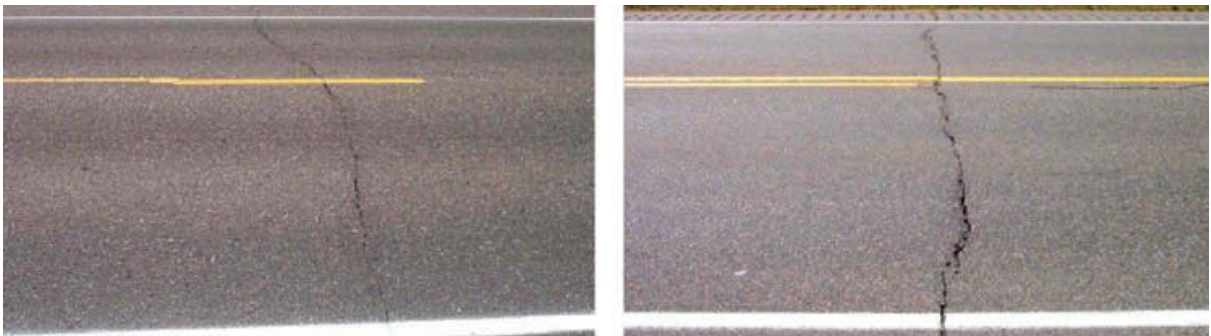


Figura 16. Fissuras transversais. (ANE 2021)

Mecanismo de ocorrência

As variações de temperatura causam solicitações elevadas de tração no topo da camada de revestimento, dando início à fissuração na face superior do revestimento (onde a temperatura superficial é mais baixa). Posteriormente, a fissura propaga-se na direção da face inferior do revestimento.

Para os revestimentos asfálticos construídos sobre bases tratadas com cimento ou lajes de betão, a fissura tem início na face inferior do revestimento, devido aos movimentos da camada rígida subjacente e propagam-se na direção da superfície.

Localização

A fissura transversal pode ocorrer em qualquer local da superfície do pavimento.

2.5.3.4 Fissuras em bloco

Definição

Conjunto de fissuras interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.

As fissuras em bloco possuem formato aproximadamente rectangular, formando blocos de vários formatos. Esses blocos sofrem uma redução nas suas dimensões à medida que aumenta o grau de deterioração.

Causas

Este tipo de fissuração é causado, principalmente, pela contracção do material de revestimento, em função da alternância diária entre temperaturas altas e baixas. De um modo geral, a sua constatação indica que o ligante asfáltico perdeu significativamente a sua característica elástica. Não é um defeito associado à carga, embora esta possa gerar um aumento na sua severidade. Este defeito também poderá ocorrer quando houver a união de fissuras transversais e longitudinais, em revestimentos executados sobre bases cimentadas.



Figura 17. Fissuras em bloco. (ANE 2021)

Mecanismo de ocorrência

A contracção do revestimento provoca inicialmente a fissuração na direcção da menor dimensão de superfície, ou seja, na sua largura. Devido a este facto, serão originadas, em princípio, fissuras transversais. Quando a distância entre as fissuras transversais se aproximar da largura da faixa, a camada superficial do pavimento poderá então fissurar na sua direcção longitudinal, ocasião em que as fissuras adjacentes transversais ficarão ligadas formando blocos. A evolução é análoga para revestimentos sobre bases cimentadas.

2.6 Técnica para Manutenção/Reabilitação de pavimento Betuminoso

“Todo pavimento com a proximidade do fim da sua vida útil necessita de manutenção e reparos mais frequentes. É necessário diagnosticar as patologias dos pavimentos, para adotar-se procedimentos para restauração, reparos e manutenção dos pavimentos asfálticos. Com isso tem-se que determinar quais os defeitos e suas prováveis causas, determinar medidas e soluções tecnológicas e verificar qual dessas medidas é a mais viável, atendendo critérios econômicos e de projeto”. (Robson da Rocha 2009)

Para a definição de alternativas de restauração e recuperação é necessário o estudo da condição do pavimento existente. Este estudo é precedido por uma avaliação funcional e uma avaliação estrutural. Essas avaliações fornecem dados para análise da condição da superfície do pavimento e de sua estrutura e também para a definição das alternativas de restauração apropriadas.

As principais considerações a serem feitas na avaliação funcional são: área trincada e severidade do trincamento, deformações permanentes e irregularidade longitudinal. O principal parâmetro considerado na avaliação estrutural é a deflexão na superfície e a bacia de deformação.

As atividades de manutenção de pavimentos asfálticos consistem geralmente na execução de remendos, selagem de trincas e aplicação de capas selantes. A identificação e reparo das patologias nas fases iniciais implicam em grande eficiência dos serviços de manutenção, pois evitam a evolução dos defeitos e em consequência o aumento dos custos de operação dos veículos e os custos de manutenção ou reabilitação do pavimento, segundo ODA (2003).

Nesta secção, faz-se um agrupamento das técnicas de reparação de defeitos para uma melhor percepção, incluindo processos construtivos de tratamentos relevantes para o contexto das estradas revestidas municipais e Nacionais.

2.6.1 Técnicas Para Recuperação das Fendas / Trincas

Nas recuperações de trincas podemos utilizar as técnicas de capa selante, tratamento superficial, lama asfáltica e microrrevestimento asfáltico.

Segundo YOSHIKANE (2005, p.8) “[...] Capa selante é a atividade que consiste na aplicação apenas de ligante asfáltico ou de ligante com agregados, continuamente sobre a superfície do pavimento, com a finalidade de rejuvenescer o revestimento asfáltico, restabelecer o coeficiente de atrito pneu -pavimento, selar trincas com pequena abertura, impedir a entrada de água na estrutura do pavimento e retardar o desgaste causado por intemperismo [...]”

Segundo BERNUCCI (2008, p.191) “[...] O Tratamento Superficial consiste em aplicação de ligantes asfálticos (Figura 40-1) e agregados (Figura 40-2) sem mistura prévia, na pista, com posterior compactação que promove o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes. O tratamento superficial pode ser: Simples, Duplo ou Triplo. O tratamento conforme a seguinte sequência: ligante é colocado primeiro e o agregado depois”.



Figura 18. Aplicação de ligante(1), Distribuição de agregados(2). (BERNUCCI, 2008)

O tratamento superficial apresenta as seguintes funções:

- ❖ Proporciona uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência ao desgaste;
- ❖ Impermeabiliza o pavimento e protege a infra-estrutura do pavimento;
- ❖ Proporciona um revestimento antiderrapante;
- ❖ Proporciona um revestimento de alta flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infra-estrutura.

Segundo BERNUCCI (2008, p.185) “[...] 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 (Figura 26), especialmente nos revestimentos com desgaste superficial e pequeno grau de trincamento, sendo nesse caso um elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento.



Figura 19. Aplicação de lama asfáltica. (BERNUCCI, 2008)

“[...] Microrrevestimento asfáltico é uma técnica que pode ser considerada uma evolução das lamas asfálticas, pois usa o mesmo princípio e concepção, porém utiliza emulsões modificadas com polímero para aumentar a sua vida útil, uma mistura a frio processada em usina móvel especial, de agregados minerais, fíler, água e emulsão com polímero, e eventualmente adição de fibras (ABNT NBR 14948/2003)”, segundo BERNUCCI (2008, p.186).

2.6.1.1. Reparação De Fissuras Por Selagem

Segundo especificações Técnicas da ANE e SATCCC, este método de tratamento localizado é usado para evitar que a água e os detritos entrem numa fissura, e pode incluir alargamento para limpar toda a fissura e a criação de um reservatório para conter o selante. É eficaz apenas por alguns anos, pelo que o processo deve ser repetido. No entanto, este tipo de tratamento é muito eficaz para prolongar a vida útil do pavimento. Apresentam-se, a seguir, os três métodos de reparação de fissuras:

Tabela 6. Métodos de reparação de fissuras. (ANE 2021)

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Limpar e selar: usado em todos os tipos de fissuras, envolve o uso de uma lança de ar quente ou ar comprimido para soprar os detritos das fendas, preenchendo-as, em seguida, com um selante. ❖ Serrar e selar: envolve o uso de uma serra de pavimento para criar juntas transversais a intervalos regulares ao longo de um pavimento recém-colocado, sendo estas juntas preenchidas, em seguida, com um selante. O objectivo é evitar o surgimento desordenado de fissuras transversais devido a variações térmicas. |
|---|

- ❖ Fresar e selar: usado em fissuras transversais e longitudinais. Envolve o uso de uma serra de pavimento ou fresadora para criar um reservatório centralizado sobre as rachaduras existentes, que é, em seguida, preenchido com um selante.

2.6.1.2 “Fog Seal”

Da terminologia em inglês “fog seal”, este tratamento consiste na aplicação de uma emulsão diluída (normalmente a uma taxa de 1:1) para enriquecer a superfície do pavimento e retardar o resvalamento e a oxidação. Contudo, é considerado um tratamento temporário.

2.6.1.3 Revestimento Superficial Duplo

Pode ser usado no tratamento de defeitos de pavimentos, pois impermeabiliza a superfície, sela pequenas fissuras, reduz a oxidação da superfície do pavimento e melhora o atrito.

2.6.1.4 Lama Asfáltica

A lama asfáltica, comumente conhecida por “slurry seal”, é uma mistura de agregado fino, emulsão de asfalto, água e um agente de enchimento mineral, e é usada quando o problema principal é a oxidação excessiva e o endurecimento da superfície existente. As lamas asfálticas são usadas para retardar o resvalamento da superfície, selar pequenas fissuras e melhorar o atrito da superfície.

2.6.1.5 Microrrevestimento

O microrrevestimento é comumente referido como um slurry de pasta modificada com polímero. No entanto, a principal diferença é que o processo de cura do microrrevestimento é um processo controlado quimicamente, ao passo que na slurry seal e nos revestimentos superficiais utiliza-se o processo térmico. Tem a mesma aplicação que a lama asfáltica e também é usado para tapar as rodeiras.

2.6.1.6 Misturas Betuminosas a Quente Finas

As misturas a quente finas são usadas em camadas de sobreposição com o objectivo de melhorar a qualidade da condução, reduzir a oxidação da superfície do pavimento, assegurar condições de drenagem superficial adequada, melhorar a fricção do pavimento e corrigir as irregularidades da superfície.

2.6.2. Técnicas Para Recuperação dos Afundamentos

No tratamento dos afundamentos, sugere-se a utilização de duas técnicas: recapeamento e fresagem. “[...] Recapeamento estrutural é a construção de uma ou mais camadas asfálticas sobre o pavimento existente, incluindo, geralmente, uma camada para corrigir o nivelamento do pavimento antigo, seguida de uma camada com espessura uniforme” (YOSHIZANE, 2005,

p.9). Quando existe o comprometimento estrutural do pavimento ou perspectiva de aumento de tráfego, 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), conforme BERNUCCI (2008).

Os tipos de revestimentos utilizados como recapeamento são o concreto asfáltico, o SMA (como camada de rolamento para resistir a deformações permanentes em vias de tráfego pesado), misturas descontínuas e o pré-misturado a quente.

Segundo BERNUCCI (2008, p.168), O “[...] Stone Matrix Asphalt (SMA) é um revestimento asfáltico, usinado a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão [...]”.



Figura 20. Processo de recapeamento. (BERNUCCI, 2008)



Figura 21. Processo de recapeamento. (Município de espírito Santo do pinhal, visitado em 24.07.2023)

“[...] Fresagem é a operação de corte, com uso de máquinas especiais, do revestimento asfáltico existente em um trecho de via, ou de outra camada do pavimento, para restauração da qualidade ao rolamento da superfície, ou como melhoramento da capacidade de suporte” (BERNUCCI, 2008, p.188).

Uma das grandes vantagens técnicas em se utilizar a fresagem e a reciclagem nos processos de recuperação de pavimentos degradados, é a questão ecológica de preservação de recursos minerais escassos, pois é reaproveitado o material triturado ou cortado pelas fresadoras e recuperadas as características do ligante com a adição de agentes de reciclagem ou rejuvenescedores.

2.6.3. Técnicas Para Recuperação de Exsudação

Com a acção do tráfego e de altas temperaturas, o cimento asfáltico da mistura irá expandir-se, ocupando os vazios não preenchidos. Desta forma, ocorre a migração e a concentração do ligante na superfície do revestimento. A passagem das cargas poderá causar um aumento da densificação da mistura nas trilhas de roda (redução do volume de vazios) e aumentar a exsudação.

A exsudação poderá manifestar-se em qualquer região da superfície do pavimento, sendo mais severa nas trilhas de roda.

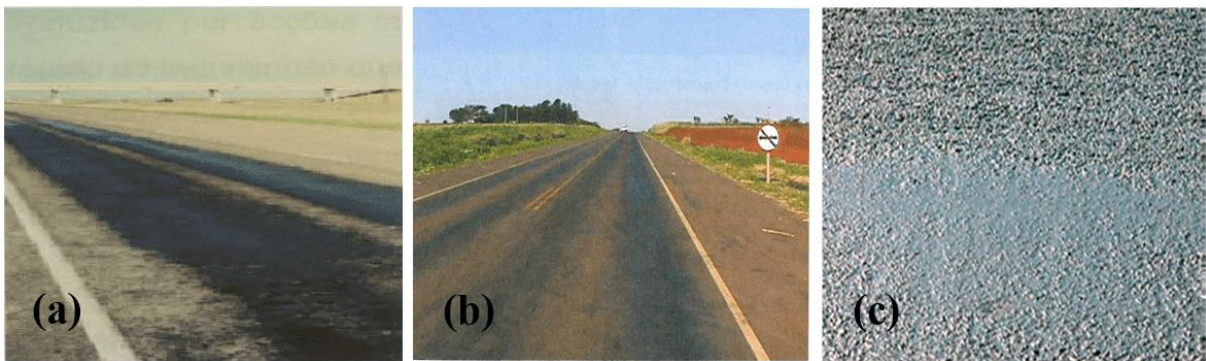


Figura 22. Ilustração da exsudação na parte lateral (a) e central (b) da rodovia, e detalhes (c). (Bernucci, 2006, p. 420; Pinto, 2003, p. 52; Silva, 2008, p. 33)

2.6.4. Técnicas Para Recuperação dos Buracos

Os buracos são cavidades formadas inicialmente no revestimento do pavimento e possuem dimensões e profundidades variadas. O defeito é muito grave, pois afecta estruturalmente o pavimento, permitindo o acesso das águas superficiais ao interior da estrutura. Também é grave do ponto de vista funcional, já que afecta a irregularidade longitudinal e, como consequência, a segurança do tráfego e o custo do transporte.

Segundo as normas de execução da ANE e SATCC para a recuperação deste tipo de patologias segue-se o seguinte tratamento:

- Colocação de sinalização provisória e dispositivos de controlo de tráfego;
- Assegurar a passagem do tráfego durante os trabalhos;
- Fornecimento e armazenagem de materiais usados no enchimento do buraco;
- Marcação das áreas danificadas;
- Corte e remoção de todo o material danificado e a limpeza e compactação do fundo do buraco;
- (Reparar a base e sub-base, dependendo da profundidade dos buracos);
- Aplicação da rega de colagem, no caso de defeitos superficiais apenas ou aplicação de rega de impregnação, no caso da reparação incluir a reparação da camada de base ou da camada de fundação;
- Controlar o nível da superfície da reparação;
- Prevenção de derrame ou espalhamento de material betuminoso fora da área demarcada;
- Limpeza do local de trabalho;
- Remoção de sinalização provisória e dispositivos de controlo de tráfego.

2.7. Materiais Para Tratamento De Defeitos Em Pavimentos Asfaltados

2.7.1 Definições

Apresenta-se, em seguida, o significado de alguns termos de materiais usados no tratamento de pavimentos asfaltados. Eventualmente, alguns termos poderão estar repetidos neste documento.

Tabela 7. Conceitos de materiais usados no tratamento de pavimentos asfaltados. (ANE 2021)

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Asfalto: 1) Material aglutinante de consistência variável, cor pardo-escuro ou negro, no qual o constituinte predominante é o betume, podendo ocorrer na natureza em reservas, ou ser obtido pela refinação do petróleo. 2) Termo usado em alguns países (Alemanha, Austrália, por exemplo) para designar uma mistura natural ou artificial de betume com materiais inertes. ➤ Betume: Mistura de hidrocarbonetos pesados, obtidos em estado natural ou por diferentes processos físicos ou químicos, com seus derivados, de consistência variável e com poder aglutinante e impermeabilizante, sendo completamente solúvel no bissulfeto de carbono (CS₂). ➤ Emulsão: Sistema em equilíbrio estável de dois líquidos não miscíveis, separados um do outro, ou de um sólido, finamente subdividido, e um líquido. |
|---|

- **Emulsão Asfáltica (betuminosa):** Dispersão de glóbulos de asfalto em água ou dispersão de glóbulos de água em asfalto, por acção de um agente emulsificado.
- **Emulsão Asfáltica Aniônica:** Sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica numa fase aquosa, ou então de uma fase asfáltica, apresentando carga negativa de partícula.
- **Emulsão Asfáltica Catiônica:** Sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica numa fase aquosa, ou então de uma fase asfáltica, apresentando carga positiva de partícula.
- **Impregnação betuminosa:** Tratamento que consiste no espalhamento de um aglutinante betuminoso muito fluído para assegurar a coesão dos elementos granulares próximos da superfície. Esta coesão resulta da entrada, por capilaridade, do aglutinante na camada tratada.
- **Ligante:** Material que serve para revestir as partículas de agregado, assegurando a sua coesão.
- **Ligante betuminoso:** Material adesivo contendo betume, que pode estar sob a forma de não modificado, modificado, oxidado, fluidificado, fluxado ou emulsionado.
- **Rega de colagem:** Camada de aglutinante betuminoso espalhado, com a função de assegurar a adesão de duas camadas consecutivas de um pavimento com misturas betuminosas.

2.7.2 Materiais para impregnação

O material mais usado no nosso país é o MC30. Porém, pode também usar-se o MC 10. MC30 é um primário de uso geral, adequado para a preparação da maioria das camadas da base dos pavimentos. Deve ser aquecido a uma temperatura de 50 a 60°C antes da aplicação. MC10 é um primário de baixa viscosidade, adequado para a impregnação de bases densas estabilizadas. Requer pouco ou nenhum aquecimento antes da aplicação.

2.7.3 Materiais para rega de colagem

A rega de colagem comumente usada em Moçambique é o betume de grau de penetração 70/100. É usado na construção de revestimentos superficiais como rega de colagem, assim como rega de penetração. É também usado como betume base para o fabrico da maior parte das emulsões e ligantes modificados com polímeros.

2.7.4 Tipos de emulsão asfálticas

Na região da SATCC são conhecidas as seguintes emulsões aniónicas e catiónicas:

Aniónicas:

- Anionic Stable Grade 60%, SS60

Catiónicas:

- Cationic Spray Grade 60, 65 & 70% (CRS 60, 65 & 70)
- Cationic Premix Grade 60 & 65% (CMS 60 & 65)
- Cationic Stable Grade 60% (CSS 60)

Uso

- As emulsões do tipo Stable Grade, de endurecimento lento (SS), são utilizadas no fabrico de lamas asfálticas, de massas asfálticas densas a frio para remendos, em solo estabilizado, e podem servir como rega de colagem para massas asfálticas a quente.
- As emulsões do tipo Spray Grade, de endurecimento rápido (RS), são utilizadas na construção de revestimentos superficiais e são também usadas em aplicações com massas asfálticas a quente.
- As emulsões do tipo Premix Grade, de endurecimento médio (MS) são usadas no fabrico de massas asfálticas a frio de granulometria aberta, para remendos.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE PESQUISA

Todas as ciências caracterizam-se pela utilização de métodos científicos, em contrapartida, nem todos os ramos de estudo que empregam estes métodos são ciências. Dessas afirmações podemos concluir que a utilização de métodos científicos não é da alçada exclusiva da ciência, *mas não há ciência sem o emprego de métodos científicos*. (Lakato & all, 2003).

3.1 Métodos de pesquisa

A presente pesquisa, quanto ao método de pesquisa, tem a seguinte classificação:

Método qualitativo: A pesquisa qualitativa proporciona melhor visão e compreensão do cenário do problema. Ela investiga o problema com algumas noções preconcebidas sobre o resultado dessa investigação. Além de definir o problema e desenvolver uma abordagem, a pesquisa qualitativa também é adequada ao se deparar com uma situação de incerteza, como quando os resultados conclusivos diferem das expectativas. Ela pode fornecer uma percepção clara antes ou após o facto. (MALHOTRA, 2011). Este método de pesquisa permitiu a recolha de dados referentes aos factores relacionados as degradações do pavimento da Estrada Nacional N°2 no troço Boane – Mafuaine.

3.2. Classificação de pesquisa

a) Quanto a natureza

Aplicada

“Caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados, imediatamente, na solução de problemas que ocorrem na realidade”. (Lakato & all, 2008).

Espera –se que os resultados da análise da estrada nacional N2-Boane-Mafuiane sejam aplicados no melhoramento da estrada.

b) Quanto a procedimentos

Pesquisa bibliográfica

“A pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas. Boa parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisas bibliográficas. As pesquisas sobre ideologias, bem como aquelas que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema, também costumam ser desenvolvidas quase exclusivamente a partir de fontes bibliográficas”. (GIL A. C., 1991)

Para se tornar possível a concretização do presente trabalho recorreu-se a métodos descritivos cujo objectivo primordial é a descrição do uso de metodologia aplicadas para a recuperação e manutenção de pavimentos flexíveis, Recorreu-se a consulta de livros, revisão bibliográfica, pesquisa na Internet, revistas, digitação e técnicas de resumo.

c) Instrumentos e utensílios

Para a elaboração de ensaio laboratoriais foram usados os seguintes instrumentos e utensílios:

- Série de peneiros ASTM de malha quadrada;
- Almofariz com mão de borracha;
- Balança para pesagem com margem de erro de 1g;
- Balança para pesagem com margem de erro de 0,10g;
- Repartidores.
- Concha de Casa-grande;
- Riscador;
- Estufa de secagem capaz de manter 110° - 115°C;
- Concha de Casa-grande.

3.3. Delimitação da pesquisa

a) Temporal

“Isto é, o período em que o fenómeno a ser estudado será circunscrito. Podemos definir a realização da pesquisa situando nosso objecto no tempo presente, ou recuar no tempo, procurando evidenciar a série histórica de um determinado fenómeno”. (GIL A., 2009)

A presente pesquisa se delimita em estudar a génese das patologias e métodos de recuperação do trecho da estrada Nacional N2-Boane-Mafuiane, compreendida entre os quilómetros 0+300 a 7+800 do município de Namaacha, o estudo teve o seu início em junho de 2021, com termino a data de entrega deste trabalho. Com vista a propor melhor tipo de recuperação e manutenção, o que o autor desta pesquisa acha preponderante para a durabilidade dos pavimentos e uma maior contenção de custos olhando para as vantagens e desvantagens, durabilidade, técnicas construtivas e economia de construção.

b) Espacial

“Um primeiro critério é o espacial. Por ser a pesquisa social eminentemente empírica, é preciso delimitar o local onde o fenómeno em estudo ocorre. Um estudo que trate da violência urbana, por exemplo, pode comportar diversos recortes espaciais (um município, uma área metropolitana, uma região, etc.). Certo é que o parâmetro espacial escolhido implicará no resultado dos dados obtidos e nas conclusões do estudo”. (GIL A., 2009)

A pesquisa será desenvolvida no seu todo no Município de Namaacha na estrada Nacional N2-Mafuiane.

CAPITULO IV: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.0 ESTUDO DE CASO

CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE NA N2-BOANE-MAFUIANE.

Mapa da localização da área em estudo.

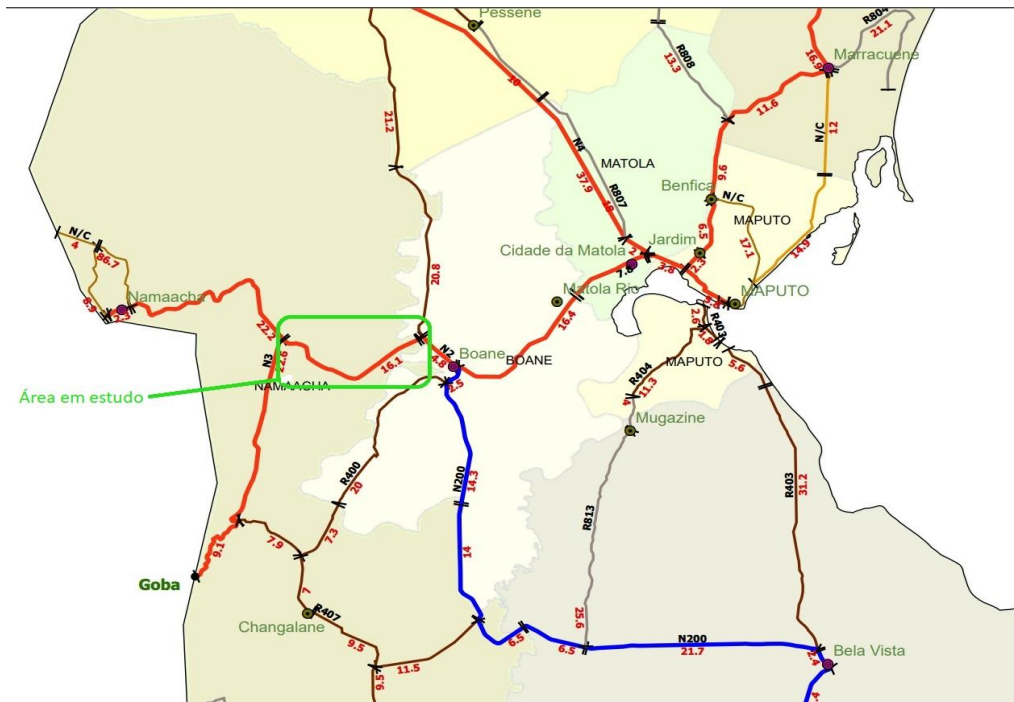


Figura 23. Localização da Área em estudo. (ANE 2021)

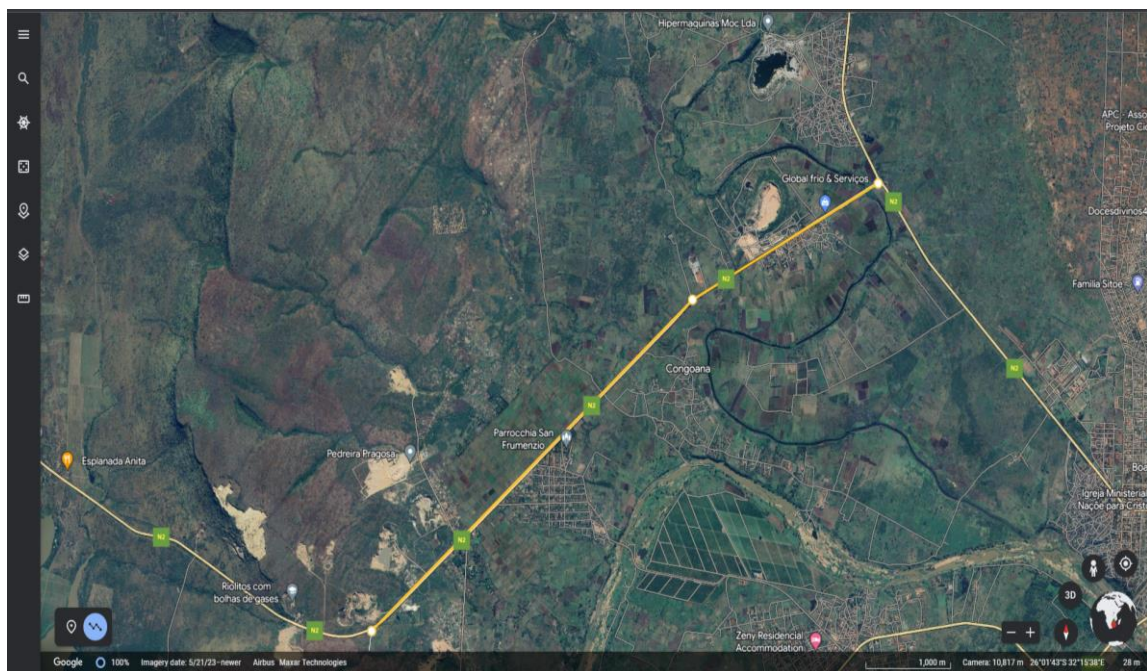


Figura 24. Mapa da Descrição do Local de Estudo desenhado pelo Google Earth. (Google Earth 2023)

Neste capítulo são identificadas as patologias existentes no pavimento da Estrada Nacional Numero 2 entre o troço Boane-Mafuiane, abordagem de métodos de recuperação propostos por diferentes literaturas e normas que vigoram no nosso País, análises laboratoriais e em campo, caracterização da estrutura do pavimento através de ensaios destrutivos e não destrutivos.

4.1 Patologias/Defeitos no pavimento da estrada Nacional N2 entre o troço Boane-Mafuiane.

A estrada nacional número 2 tem início na Cidade da Matola, passa por Boane e termina no Distrito de Namaacha tem uma extensão de 71 km, a localidade de Mafuiane é um ponto intermédio deste troço escolhido por apresentar inúmeras patologias em sua extensão que foram levantadas visualmente detalhado “*in situ*”.

A necessidade de Beneficiação/Reabilitação/Manutenção deste pavimento, que faz parte dos ramais de ligação de várias localidades, surge na identificação de acentuada degradação do pavimento caracterizada pelo surgimento de patologias em todo o extrato do pavimento da via.

De modo a avaliar a evolução das patologias reconhecidas e, principalmente afinar a extensão e a gravidade das mesmas, foram realizados trabalhos específicos de caracterização do pavimento, com o objetivo de definir de forma pormenorizada as soluções consideradas mais adequadas a implementar, quer do ponto de vista funcional, quer do ponto de vista estrutural, que consistiram em:

- Levantamento visual detalhado “*in situ*” das patologias visíveis à superfície do pavimento;
- Avaliação da capacidade estrutural dos pavimentos;
- Avaliação e interpretação dos resultados de amostras levadas a laboratório com finalidade em análises.

Efectuou-se uma inspeção visual detalhada ao pavimento em estudo (N2-Boane – Mafuiane) com o intuito de obter dados representativos do estado superficial desta.

Para identificação das várias patologias existentes no caso em estudo recorreu-se como suporte o catálogo das degradações apresentado no capítulo 2 deste trabalho, com recurso as especificações e normas vigentes no país e em outras bibliografias.

Apresenta-se a seguir alguns tipos de patologias observadas no pavimento empregue na N2-Boane – Mafuiane, que foram catalogadas pelo autor neste trabalho.

- Fendilhamento;
- Afundamentos;

- Exsudação
- Ondulações / Corrugações;
- Remendos;
- Desagregação superficial;
- Quebra de borda;
- Buracos.

A inspeção técnica feita neste pavimento foi realizada através de observação tátil-visual e através da análise do acervo fotográfico após ter sido percorrido toda a extensão da estrada, nos dois sentidos de tráfego.



Figura 25. Múltiplas patologias, entrada da pedreira Progosa. Km 5+700. (Autor 2021)

Na figura acima, pode se ver que o pavimento apresentava múltiplas patologias dentre elas, Buracos, fissuras transversais e longitudinais, remendos, bermas destruídas, Rotura da junta transversal, etc.

A solução adoptada para esta secção e outras ao longo da estrada foi a sua remoção, escarificação e reciclagem do pavimento incluindo a base.

À posterior reconstrução da base com recurso a tout-venat estabilizado com 3% de cimento Portland e por fim a betonagem com Betão betuminoso a quente, referir que nem todas as secções que receberam este tratamento beneficiaram de conclusão das reparações, isto é, aplicação do Betão betuminoso a quente e devidos acabamento.

Até ao fim da minha presença no acompanhamento dos trabalhos foram betonadas três secções como mostram as imagens, porém, escarificadas e processadas várias faltando a aplicação do betão betuminoso.



Figura 26 Escarificação e reciclagem do pavimento incluindo a base Km 5+700. (Autor 2021.)



Figura 27. Processamento do material escarificado. (Autor 2021.)



Figura 28. Compactação em camadas com recurso a cilindro e estabilização com cimento Portland 3%.
(Autor 2021.)



Figura 29. Rega de impregnação MC-30, e aplicação de Betão Betuminoso a Quente. (Autor 2021.)



Figura 30. Compactação e abertura ao trafego. (Autor 2021.)

4.1.1. Fendilhamento

As fendas observadas no pavimento possuem aberturas de vários tamanhos e nos sentidos longitudinais e transversal. As fissuras encontradas neste pavimento possuem estado avançado, em alguns casos já evoluindo para Buracos devido a ação do tráfego e intempéries. Foi registrada fissuras em bloco e fissuras do tipo pele de crocodilo, fissuras longitudinais e transversais. De referir que ate ao termino da presença do autor deste trabalho a obra, esta patologia não sofreu intervenção alguma.



Figura 31. Fissuras do tipo pele de crocodilo. (Autor 2021.)



Figura 32. Fissura Longitudinal. (Autor 2021.)

4.1.2. Afundamentos

Em alguns trechos foram observados afundamentos decorrentes de deformações permanentes, podendo ter tido como causa a consolidação das camadas subjacentes (Figura 41). Neste tipo de afundamento, há uma compensação volumétrica, com solevamento da massa asfáltica junto às bordas do afundamento identificadas nos dois sentidos da estrada. De referir que até ao termino da presença do autor deste trabalho a obra, esta patologia não sofreu intervenção alguma.



Figura 33. Afundamento do trilho. (Autor 2021.)

4.1.3. Exsudação

A exsudação é um fenômeno em que uma película ou filme de material betuminoso se forma na superfície do pavimento e caracteriza-se por manchas de variadas dimensões. As manchas resultantes comprometem seriamente a aderência do revestimento aos pneus, principalmente sob tempo chuvoso, causando um sério problema funcional. De referir que até ao termino da presença do autor deste trabalho a obra, esta patologia não sofreu intervenção alguma.



Figura 34. Exsudação do pavimento. (Autor 2021.)

4.1.4. Remendos

Foi observado em grandes trechos, nos dois sentidos de tráfego, vários remendos (Figura 37). Estes remendos apresentaram deteriorações decorrentes dos procedimentos executivos utilizados neste pavimento. De referir que até ao termino da presença do autor deste trabalho a obra, está patologia não sofreu intervenção alguma.



Figura 35. Remendos. (Autor 2021.)

4.1.5. Desagregação superficial

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento e/ou da argamassa fina do revestimento asfáltico, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

Considera-se pela designação genérica “desgaste”, a perda de agregados e/ou argamassa fina do revestimento asfáltico. Caracteriza-se pela aspereza superficial anormal, com perda do envolvimento betuminoso e arrancamento progressivo dos agregados. De referir que até ao termino da presença do autor deste trabalho a obra, esta patologia não sofreu intervenção, em alguns casos foram tratadas como buracos.



Figura 36. Desagregação da superfície. (Autor 2021.)

4.1.6. Quebra de borda

As falhas nas arestas são causadas pela manutenção deficiente da berma, que deixa a superfície do pavimento da estrada mais alta do que a berma adjacente. Essa margem não suportada pode ser interrompida pelo tráfego, estreitando a superfície de rolamento da estrada. De referir que até ao termino da presença do autor deste trabalho a obra, está patologia não sofreu intervenção, em alguns casos como nos troços que se fez a escarificação do pavimento as bordas também sofreram intervenções.



Figura 37. Quebra de bordo. Autor 2021.

4.1.7. Buracos

Como podemos observar nas Figuras 40, foram encontrados diversos trechos da estrada (nos dois sentidos) com buracos, que obrigam aos motoristas a desviarem, podendo causar acidentes no percurso. Nota-se que um dos buracos a base do pavimento está comprometido. O betão betuminosos para efeito de tapamento de buracos foi feita *in-situ*.



Figura 38. Buracos. (Autor 2021.)



Figura 39. Marcação, Corte e remoção de todo o material danificado e a limpeza do fundo do buraco. (Autor 2021.)



Figura 40. Rega de impregnação MC30 (80/100), Aplicação do Betão Betuminoso e regularização. (Autor 2021.)



Figura 41. Processo de Compactação. (Autor 2021.)



Figura 42. Buraco já remendado. (Autor 2021.)

4.2 Controle Tecnológico

4.2.1. Colheita de Amostras - Solos

Para a elaboração do ensaio foi necessário a recolha de amostras para posterior processamento em laboratório da Delegação da ANE - Maputo.



Figura 43. Colheita de Amostras Tout-Venant (Base existente). Km2+058. (Autor 2023.)

4.2.2. Análise da Curva granulométrica

Para tornar possível a elaboração deste ensaio, recorreu se ao laboratório da Delegação da ANE-Maputo seguindo a Norma TMH1- Método A1(b).

Granulometria ou Análise Granulométrica é o estudo da distribuição das dimensões dos grãos de um solo, ou seja, é a determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas percentagens de ocorrência. O principal objectivo é de conhecer a distribuição granulométrica do agregado e representá-la através de uma curva, possibilitando assim a determinação geral de suas características.

Procedimentos Seguindo a Norma TMH1 - Método A1(b). Tara-se a balança e pesam-se inicialmente 500g da amostra e passa-se as 500g pelo esquetejador (almofariz) para desfazer os torrões. Das 500g, separam-se 100g que são posteriormente usadas para se fazer a peneiração. Passa-se a amostra pela série de peneiros e coloca-se no agitador mecânico (vibrador) durante 3 minutos. Retiramos a amostra retida em cada peneiro, colocamos em repartidores (recipientes) e pesamos na balança de margem de erro de 0,01g.



Figura 44. Processo Para análise Granulométrica. (Autor 2023.)

4.2.3. Ensaio de limite Atterberg/ Índice de Plasticidade

Para tornar possível a elaboração deste ensaio, recorreu se ao laboratório da Delegação da ANE-Maputo seguindo a norma TMH1 Métodos A2 e A3 respetivamente.

O Limite de liquidez (LL) É o teor em água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido.

A passagem do estado sólido para o estado líquido é gradual, por consequência, qualquer definição de um limite de fronteira terá de ser arbitrário.

O limite de liquidez é definido como o teor de humidade do solo com o qual uma ranhura feita golpes para se fechar numa concha.

O Limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, ou seja ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço.

Procedimentos Seguindo a norma TMH1 Métodos A2. Tara-se a balança e pesam-se 500g iniciais da amostra, que se pisam no almofariz com mão de borracha com objectivo de desfazer os torrões;

Passam-se posteriormente as 500g pelo peneiro e do material retido no peneiro separam-se 100g que se amassa com água destilada até formar uma pasta homogenia e consistente;

Depois de verificar se a Concha de Casa-grande está limpa, calibramos (regulamos a altura da queda) a concha e colocamos nela 1/3 da amostra com a superfície nivelada com espessura máxima de 1cm. Passamos a seguir o riscador ao meio da massa que está sobre a concha, fizemos 10 pancadas inicialmente e retiramos com a ponta da espátula uma amostra considerável da zona do sulco em que se deu a união. Continuamos com o procedimento a seguir acrescentando areia em pequenas quantidades, com 20 pancadas, a posterior 30 e terminamos com 40 pancadas respectivamente. Posto isto, pesamos as amostras na balança para retirar o seu peso e levamos as amostras a estufa onde permanecem lá 24h. Por fim, retiramo-las e voltamos a pesar.



Figura 45. Processo de Ensaio de limite Atterberg. (Autor 2023.)

4.2.4. Ensaio de compactação (Próctor)

Para tornar possível a elaboração deste ensaio, recorreu se ao laboratório da Delegação da ANE-Maputo seguindo a norma TMH1- Método A7.

A compactação do solo é o processo de aumentar a densidade do solo, compactando as partículas do solo, causando uma redução no volume de ar.

Operação cujo objetivo é reduzir o volume de vazios num solo granuloso ou no concreto em massa, para obter maior coesão e resistência e diminuir sua permeabilidade.

Este ensaio consiste em compactar uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico, em cinco (5) camadas iguais sob ação de cinquenta e cinco (55) golpes com um soquete de 4.5kg 36 caindo de quarenta e cinco centímetros (45cm) de altura e a energia de compactação é de $25\text{kg}/\text{cm}^3$. Este ensaio visa a observar as características dos solos quanto a resistência, permeabilidade, compressibilidade, e absorção da água, antes de ser empregue em obra. A finalidade do ensaio é de controlo do grau de compactação e a avaliação da carga do solo. O ensaio é realizável em solos com percentagem de retidos no peneiro 19mm.



Figura 46. Processo de Ensaio de Compactação. (Autor 2023.)

4.2.5. Ensaio de CBR - Califórnia Bearing Ratio

Para tornar possível a elaboração deste ensaio, recorreu se ao laboratório da Delegação da ANE-Maputo seguindo a norma TMH1- Método A8.

O Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR – Califórnia Bearing Ratio) é a relação, em percentagem, entre a pressão exercida por um pistão de diâmetro padronizado necessária à penetração no solo até determinada pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão.

Este ensaio é destinado fundamentalmente para estudos de avaliação de um solo a circulação de veículos após uma enxurrada. Também é largamente utilizado no dimensionamento de pavimentos.

Para a variação do valor do C.B.R com a baridade seca executa-se a compactação com três (3) moldes diferentes e com pancadas diferentes, 55 pancadas em cinco (5) camadas, vinte e cinco (25) pancadas em cinco (5) camadas, 55 pancadas em três (3) camadas.



Figura 47. Processo de ensaio de CBR. (Autor 2023.)

4.3 Influência do tráfego

A capacidade de carga de um pavimento varia com o tempo, dependendo do tipo de utilização do pavimento. Este parâmetro relaciona-se com o tráfego futuro (para um determinado horizonte de projeto), podendo uma determinada estrutura de pavimento considerar-se como tendo capacidade de carga adequada para determinado tipo de tráfego futuro, mas insuficiente para outro tráfego mais agressivo.

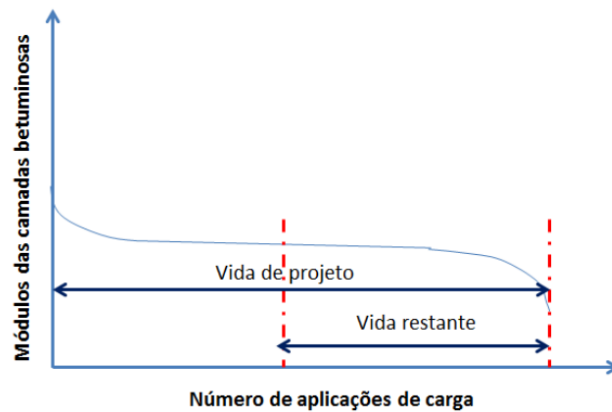


Figura 48. Capacidade de carga dum pavimento. (ANE 2021)

4.3.1 Circulação de viaturas com excesso de carga

A circulação de viaturas com excesso de carga tras implicações directas na conservação das estradas resultando numa redução drástica do período de vida dos pavimentos e aumentando exponencialmente os custos de manutenção.

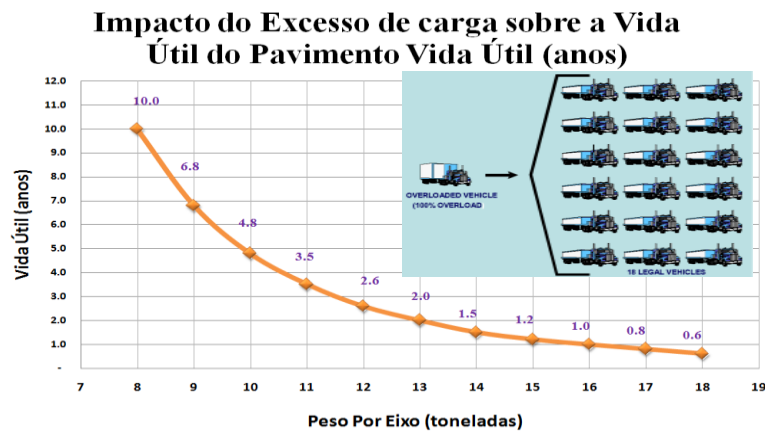
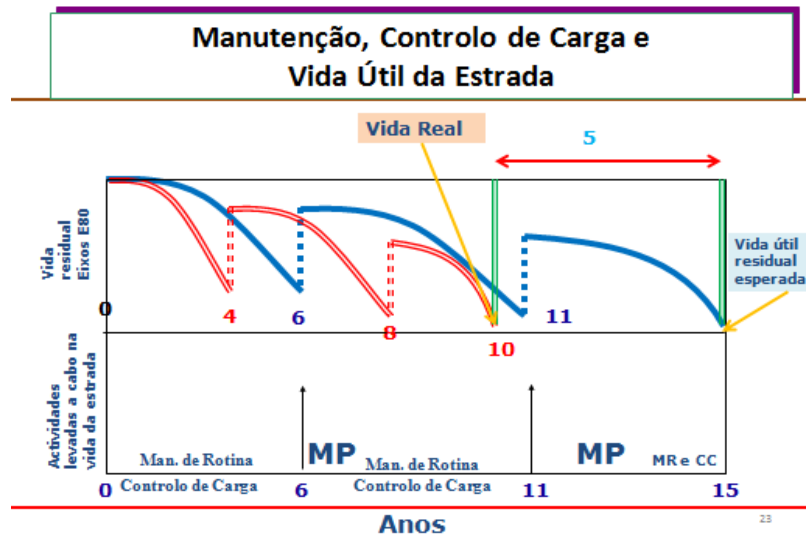
Crescimento de circulação deliberada de veículos com excesso de carga;

Não respeito dos limites de carga das infra-estruturas (Pontes Metálicas);

Ineficiência da cadeia de fiscalização e processo de penalização para desencorajar a circulação com excesso de carga;

A Policia de Transito não passa multas nem obriga os transgressores a regularizarem a carga em excesso (Baldeamento) como vem plasmado na lei que citado o *Regulamento de Pesos e Dimensões (Decreto 14/2008 de 25 de Junho Artigo 4, números 8 e 13* “...a inobservância é punida com multa, o veículo retido, seguindo viagem depois da regularização da carga, baldeando no local de controlo da carga sobre a responsabilidade do dono da mesma ou do proprietário do veículo”;

Falta de força de coação por parte do lesado (sector de estradas) para a obrigação do cumprimento da lei.



Viatura com 100% de Excesso de Carga Representa 18 Viaturas com Carga Legal

Figura 49. Impacto do excesso de carga sobre a vida útil do pavimento. (MOPHRH.)

Relatório de Recenseamento de Tráfego - TMDA Província De Maputo últimos 6 anos.

Tabela 8. Relatório de Recenseamento de Tráfego. (ANE, adaptado por Autor.)

TMDA	≠	Nome do troço	Total ligeiros	Total pesados	Total (ligeiros e pesados)
2022	N2	Fr. Namaacha-Movene	1985	1102	3087
2021	N2	Fr. Namaacha-Movene	3421	2077	5498
2020	N2	Fr. Namaacha-Movene	3936	2217	6153
2019	N2	Fr. Namaacha-Movene	4545	2274	6819
2018	N2	Fr. Namaacha-Movene	2994	1777	4771
2016	N2	Fr. Namaacha-Movene	1428	783	2211

4.4 Resultados dos Ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais constituem a base mais importante para qualquer construção. É com base em ensaios laboratoriais que se determina a aptidão dos materiais que são aplicados nas diversas obras segundo as suas características (resistência, deformabilidade e durabilidade). Com base nos resultados obtidos na análise dos ensaios laboratoriais, constatou-se que:

4.4.1 Ensaios de Compactação

O ensaio de Próctor apresentou 1,970gr/cm³ de baridade seca máximo ou peso específico seco máximo e 8,5% de teor óptimo de humidade. Entretanto, estes resultados são primitivos porque este ensaio depende muito da energia de compactação, se variar a energia de compactação o comportamento da curva do peso específico máximo (γ_s máximo) em função do teor óptimo (w_{opt}) vai mudar de comportamento e este ensaio serve de preparativos de ensaio do CBR, vê-se em anexos o resultado completo do ensaio da amostra. Segue tabela resumo dos resultados do ensaio de compactação.

Tabela 9. Resultados de ensaio de Próctor. (Autor 2023.)

Mistura Ensaída	Teor Óptimo (w_{opt}) %	Baridade seca Máxima (γ_{max}) [gr/cm ³]
Solo (Tout-Venant)	8.5	1.970

4.4.2. Ensaio de CBR - California Bearing Ratio

O ensaio de C.B.R apresentou 98.0% de capacidade de suporte a uma penetração de 2.5mm, e as normas de execução preconizam para este ensaio uma capacidade de suporte mínima de 95%.

Tabela 10. Resultado de Ensaio de resistência a Compressão do CBR. (Autor 2023.)

Mistura Ensaída	Valor de C.B.R		
	CBR 2.5mm %	CBR 5.5mm %	CBR 7.5mm %
Solo (Tout-Venant)	98.0	95.0	93.0

Relação entre CBR-Teor óptimo de humidade-Baridade seca máxima.

Tabela 11. Relação entre CBR-Teor óptimo de humidade-Baridade seca máxima. (Autor 2023)

Provete Imerso		
CBR (%)	w_{opt} (%)	$\gamma_{smáx}$
98.0	8.5	1.970

Estes resultados são considerados bons porém necessitam de um controle rigoroso na sua aplicação de modo a salvaguardar o seu bom funcionamento.

4.4.3. Análise Granulométrica

A análise da granulometria do solo apresenta valores que variam de 4.3% a 71.9%. Estes resultados encontram-se dentro dos fusos preconizados ou estabelecidos pelas normas de execução da ANE que prevê o máximo de 16% para a areia fina e o mínimo de 34% para o cascalho. Portanto, neste solo as percentagens das partículas que o compõe encontram-se bem escalonadas segundo o ensaio executado.

Tabela 12. Resultados da Análise Granulométrica dos Solos. (Autor 2023.)

Material	Amostra %
Cascalho	71.9
Areia Grossa	7.4
Areia Média	4.2
Areia Fina	4.3
Elementos menor que 0.075mm (pó)	12.2

4.4.4 Limite de Consistência

O ensaio de limite de consistência compreende os seguintes ensaio:

- Limite de plasticidade (LP);
- Limite de liquidez (LL).

Os ensaios realizados obtiveram os seguintes resultados apresentados na tabela seguinte:

Para as estradas asfaltadas a norma de execução da ANE sobre o código 899 alínea g) referente a Reparação e estabilização da (sub) base para efeito de tapamento de buracos e reparação da rotura dos bordos preconiza um $CBR > 60\%$, e $IP < 10$, ou deverá ser feita com solos tipo G5 ou melhor. Determinação do Índice de plasticidade:

$$LL = 27.5\% \quad IP = LL - LP$$

$$LP = 25.8\% \quad IP = 27.5\% - 25.8\%$$

$$IP = 1.7\%$$

Tabela 13. Resultados de ensaio de Limites de consistência ou Atteberg. (Autor 2023.)

Mistura ensaiada	Limites de consistência ou Atteberg			
	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Limite de Retração (%)
Solo (Tout-Venant)	27.5	25.8	1.7	4.1

4.4.5 Métodos propostos para recuperação das patologias na estrada Nacional Nº 2 entre o troço Boane – Mafuiane.

Deterioração		Efeito/Descrição	Prováveis causas	Intervenções
Fendilhamento isolado	Longitudinais	• Apresenta direção predominante paralela ao eixo da via;	<ul style="list-style-type: none"> • Junta de construção mal executada. • Contração / dilatação do revestimento; • Propagação de trincas de camadas subjacentes; 	• Vedação das fendas e/ou rega de colagem;
	Transversais	• Apresenta direção predominante ortogonal ao eixo da via	<ul style="list-style-type: none"> • Contração / dilatação do revestimento; • propagação de trincas de camadas subjacentes. 	• Vedação das fendas e revestimento dos taludes laterais com material plástico.
Fendilhamento interligado	Crocodilo	Assemelhando-se a pele de crocodilo	<ul style="list-style-type: none"> • Ação repetida das cargas de tráfego; 	• Vedação das fendas e reforço com um revestimento resistente a cargas como por exemplo uma mistura betuminosa a frio;
	Bloco	Configuração próxima a um rectângulo, podendo os blocos apresentarem varios tamanhos.	<ul style="list-style-type: none"> • Variações térmicas; • União de trincas transversais e longitudinais; • Tráfego pesado; • Elevado teor de humidade no pavimento. 	• Vedação das fendas e reforço com um revestimento resistente a cargas como por exemplo uma mistura betuminosa a frio;
Afundamentos			<ul style="list-style-type: none"> • Ruptura das camadas do pavimento pela ação do tráfego; 	• Controlo do das sobrecargas e/ou reforço com uma mistura betuminosa a frio;
		• Apresenta além da depressão na região das trilhas de rodas um sollevamento lateral;	<ul style="list-style-type: none"> • Compactação insuficiente das camadas. Mistura asfáltica com baixa estabilidade. 	• Substituição do revestimento
		• Caracteriza-se por uma depressão do revestimento na região das trilhas de roda;	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração de água nas camadas; 	
		• Rotura das camadas do pavimento;	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas pesadas; 	
Exsudação		• Deslocamento lateral do revestimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de humidade elevado no pavimento; 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Carga pesada; 	
		• Aplicação excessiva de ligante;	<ul style="list-style-type: none"> • Calor excessivo; 	• Adição de brita fina e compactação;
	• Deficiente aplicação de agregado.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação excessiva de ligante; 	• Colocação de novo revestimento.	
		• Deficiente aplicação de agregado.		

Deterioração	Efeito/Descrição	Prováveis causas	Intervenções
Ondulações/Corrugações		• Instabilidade da mistura betuminosa ou base;	• Remover e substituir qualquer material instável antes de aplicar o tratamento;
	• Aplicação excessiva de ligante	• Excesso de umidade das camadas;	• Betão asfáltico, revestimento superficial ou massas frias;
		• Materiais estranhos na mistura;	• Revestir a berma para reduzir a entrada de humidade;
	• Deficiente aplicação de agregado.	• Retenção da água na mistura.	• Microbetões asfálticos+geotêxtil selante;
			• Estabilização in situ;
			• Remendos pesados;
Deterioração de Remendos		• Tráfego intenso.	• Preparação da superfície, removendo o excesso ou limpando as depressões. Aplicar tratamento semelhante aos remendos.
	• Região do pavimento onde ocorreu substituição do material original.	• Uso de materiais de má qualidade.	
		• Condições ambientais agressivas.	
Quebra de Bordos		• Tráfego;	• Revestimento das bermas
	• Bermas não revestidas;	• Escocamento;	• Colocação de gravilha nas bermas para
	• Desnível da berma excessivo;	• Bermas não revestidas;	• Permitir o crescimento da vegetação ou substituição do material
	• Presença de material de má qualidade nas bermas;	• Desnível da berma excessivo;	• Calendarização da colocação de gravilha nas bermas.
	• Falta de manutenção das bermas.	• Material fraco na berma;	
		• Falta de manutenção das bermas.	
Buracos	• Fissuração do revestimento;	• Tráfego;	• Selagem das fendas;
	• Peladas;	• Penetração de humidade através da superfície;	• Execução de remendos com massas asfálticas (a quente ou a frio);
	• Cavidade que se forma num primeiro estágio no revestimento apresentando dimensões variadas;	• Trinca por fadiga; • Desgaste de alta severidade;	• Substituição de pedras;
	• Revestimento com delaminação;	• Revestimento fendilhado;	• Melhoria das condições de drenagem e substituição do revestimento;
		• Revestimento com delaminação;	• Colocação de novo revestimento.
	• Ligante friável.		

Tabela 14. Métodos propostos para resolução das patologias encontradas na N2. (Autor 2023)

CAPITULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Com base nas actividades realizadas em obra e nos resultados do estudo de campo e de laboratório efectuados concluiu-se que:

- ✓ Os métodos usados para a correcção das patologias identificadas na Estrada Nacional N2 no troço Boane-Mafuiane não observa integralmente os procedimentos definidos nas normas e regulamentos técnicos em uso no sector de estradas no País assim como na região da SADC;
- ✓ A necessidade de estudos e controle técnico antes, durante e após as intervenções constitui fator importante para a determinação do melhor método de correcção de patologias a adoptar, deste modo evitando desperdícios de material e fundos que são deficitários;
- ✓ Verificou-se que todos os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, nomeadamente os ensaios de Proctor, Granulometria, Limites Atterberg e CBR do material aplicado durante a construção da Base de agregado britado (Tout-Venant), encontram-se dentro dos parâmetros preconizados pelas normas de execução da ANE, o que confirma que a degradação verificada no pavimento, se resume à camada de desgaste;
- ✓ As falhas em alguns processos construtivos na atividade de tapamento de buracos, como a deficiente remoção de partículas com recurso a compressor ou vassoura antes da rega de impregnação e o controlo da temperatura no processo de aplicação do betão betuminoso a quente feito *in-situ* ou em central, podem comprometer a durabilidade do remendo feito;
- ✓ A manutenção da pendente transversal da estrada (Abaulamento), fica condicionada devido à falta de limpeza regular das bermas o que tem se traduzido em concentração de solos, partículas e surgimento de vegetação que altera a cota do projecto na berma e conseqüente interrupção da pendente transversal;
- ✓ A deficiente Manutenção do sistema de drenagem (pontes, aquedutos, valetas, sanjas e valas de cristas) condicionam o fluxo das águas e ocasiona concentração de volumes consideráveis na plataforma da estrada o que compromete a durabilidade da mesma;
- ✓ É notório que a manutenção de rotina que é desenvolvida ao longo dos anos, é deficiente devido à fraca observância das normas técnicas assim como a não realização cabal das actividades com vista a correcção de todos os defeitos, esta situação, é devido às limitações financeiras, o que se traduz no agravamento da degradação da estrada;

- ✓ Conclui-se que as patologias existentes na Estrada Nacional N2 no troço Boane-Mafuiane, advém do tempo de vida útil que a estrada tem, carecendo neste momento de intervenção mais profunda que passa pela Reabilitação da estrada, pois já se passam mais de 20 anos após a última Reabilitação segundo o contrato Nº 0024/MAN/DEN/2000, neste período nenhuma manutenção periódica foi feita.

5.2 Recomendações

Recomenda-se ao Empreiteiro:

- ✓ Recomenda-se a observância integral das normas técnicas durante a execução das actividades por forma a garantir a necessária qualidade do trabalho.

Recomenda-se ao Sector de estradas:

- ✓ A presença da equipe de Fiscalização e Laboratório em todas as actividades de manutenção das estradas;
- ✓ A realização de estudo de Engenharia com vista a definição de melhores soluções técnicas a adoptar para obtenção de melhores resultados na recuperação de qualquer patologia;
- ✓ Qualidade e rigor na manutenção de rotina assim como a observância do tempo de vida útil definido no projecto de obra, devem ser directrizes de gestão da rede por parte do sector de estradas por forma a garantir o alcance de melhores resultados;
- ✓ Fortalecimento e rigor no controle de carga como forma de prolongar a vida útil dos pavimentos.

5.3. Bibliografia

- A. Minhoto, Consideração da Temperatura no Comportamento à Reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Braga: Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2005.
- AASHTO - American Association Of State Highway And Transportation. Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. Washington, D. C., 2002.
- AASHTO, "Design Guide for Highway Pavements.", 1986.
- ANE – Serviços Centrais De Planificação - Relatórios de Tráfego Rodoviário.
- ANE, Especificações Técnicas para Obras de Estradas e Pontes. 2021
- ANE, Normas De Execução, 2015.
- ANE. (2009) Caderno do sistema Administrativo de Moçambique, Portal da Administração Nacional de Estradas. Disponível em <http://ane.gov.mz>;
- ASTM D 6433-07 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition
- Balbo, J. T. (2007). Pavimentação Asfáltica: Materias, Projectos e restauração.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. vol. 504. Rio de Janeiro, 2008
- CRUZ, L. O.M. Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2003
- DNIT. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. 2ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.
- F. BATISTA, "Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimentos – Misturas betuminosas densas a frio." Dissertação para Obtenção do Grau de Doutoramento em Engenharia, FEUP, Porto, 2004.
- Faleiros, L. (2005). Estradas: Pavimento. São Paulo.
- Iva Maia, "caraterização de patologias em pavimentos rodoviários" Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.
- J. M. Q. Ribeiro, "Beneficiação e Reabilitação de Estradas", 2012.
- Lakatos, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica 1 Marina de Andrade Marconi, Eva Maria Lakatos. - 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.
- (Maria da Conceição Azevedo, 2015) Diretivas para a concepção de Pavimentos, Critérios de Dimensionamento de Pavimentos. Lisboa: publicações e projectos de Engenharia, LDA.

- M. Antunes, F. Batista e S. a. D. P. Fontul, "Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviário.", LNEC, 2005.
- MOPHRH, Guião Metodológico para Elaboração de Planos Director Municipais de Água e Saneamento Urbano, Maputo 2021.
- P. "Interactive Training Guides -Pavement Tools Consortium.," 2005. [Online]. Available: <http://training.ce.washington.edu/>. [Acedido em Outubro 2011].
- P. Pereira e C. Miranda, "Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários.", Universidade de Braga., 1999.
- P. Santos, P. Pereira e F. Branco, "Pavimentos Rodoviários.", Almedina, Coimbra, 388p., 2006.
- SATCC, Draft Especificações Técnicas para Obras de Estradas e Pontes.
- Técnicas de Reabilitação de Pavimentos – Misturas betuminosas densas a frio." Dissertação para Obtenção do Grau de Doutoramento em Engenharia, FEUP, Porto, 2004.
- TMH1, Standard methods of testing road construction materials. Pretoria, South Africa 1985.
- YOSHIZANE, H. P. Defeitos, manutenção e reabilitação de pavimento asfáltico. Universidade Estadual de Campinas, Centro Superior de Educação Tecnológica CESET. Limeira, p. 24. 2005.

5.4.Anexos

Horizontal and vertical contracted of alignment.

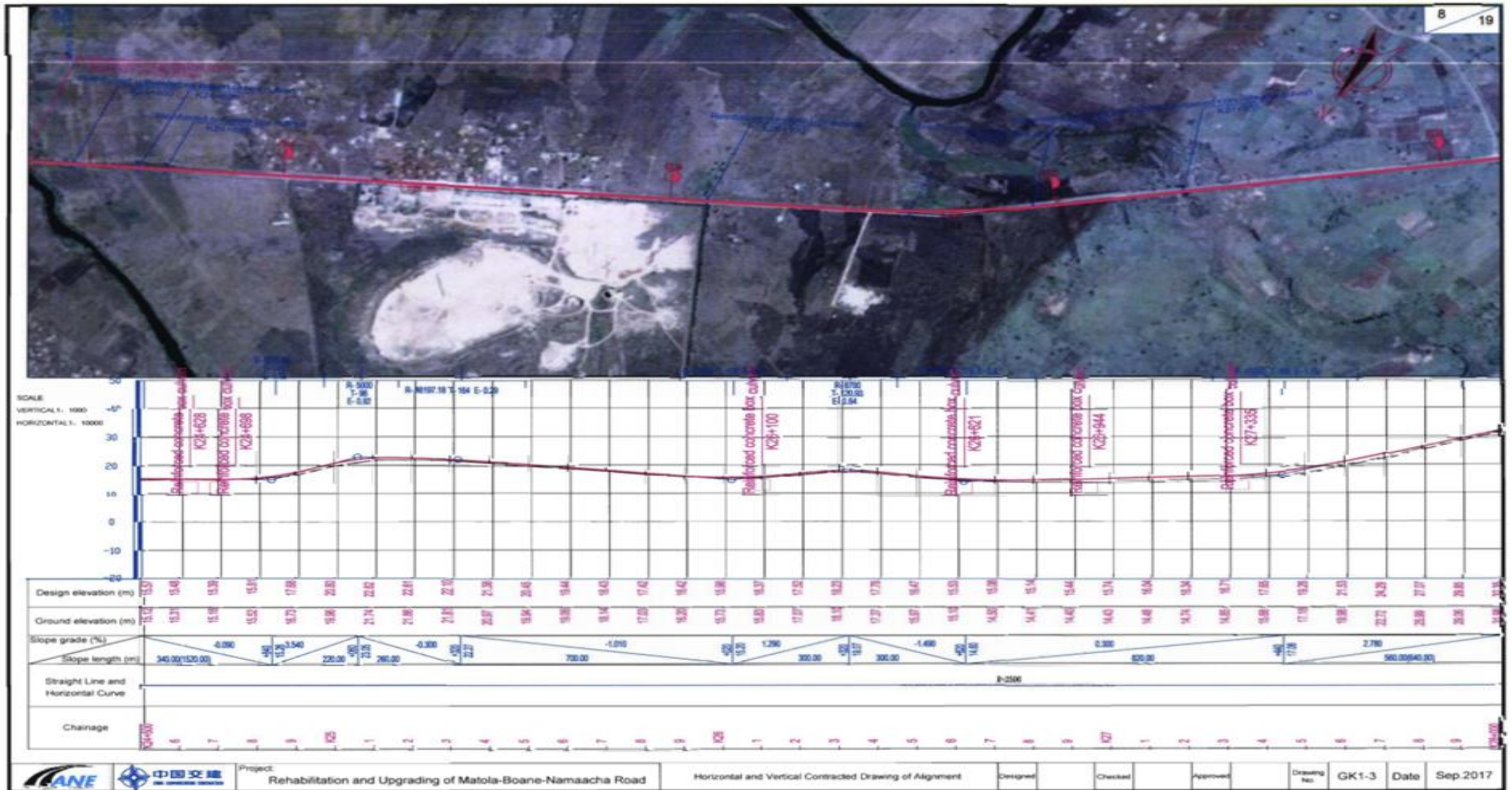
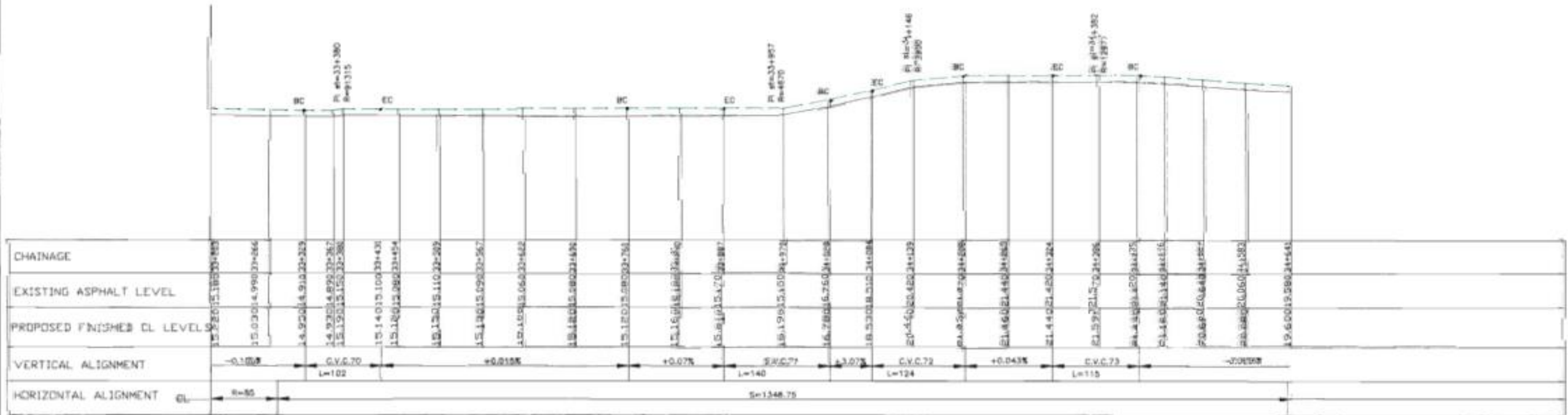
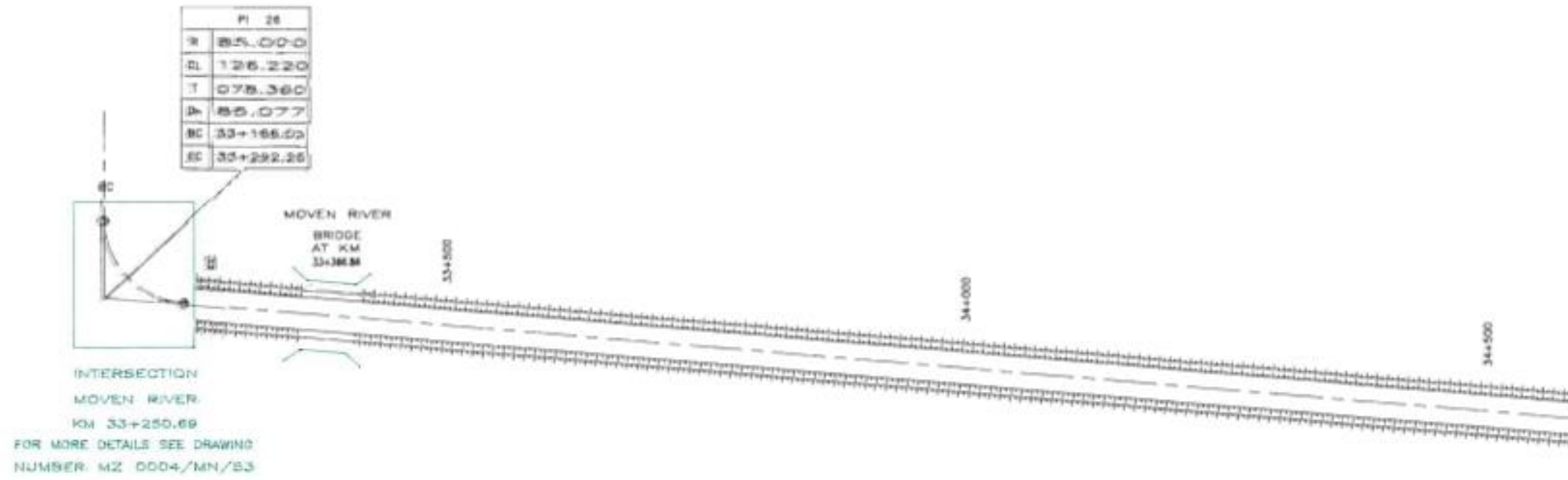
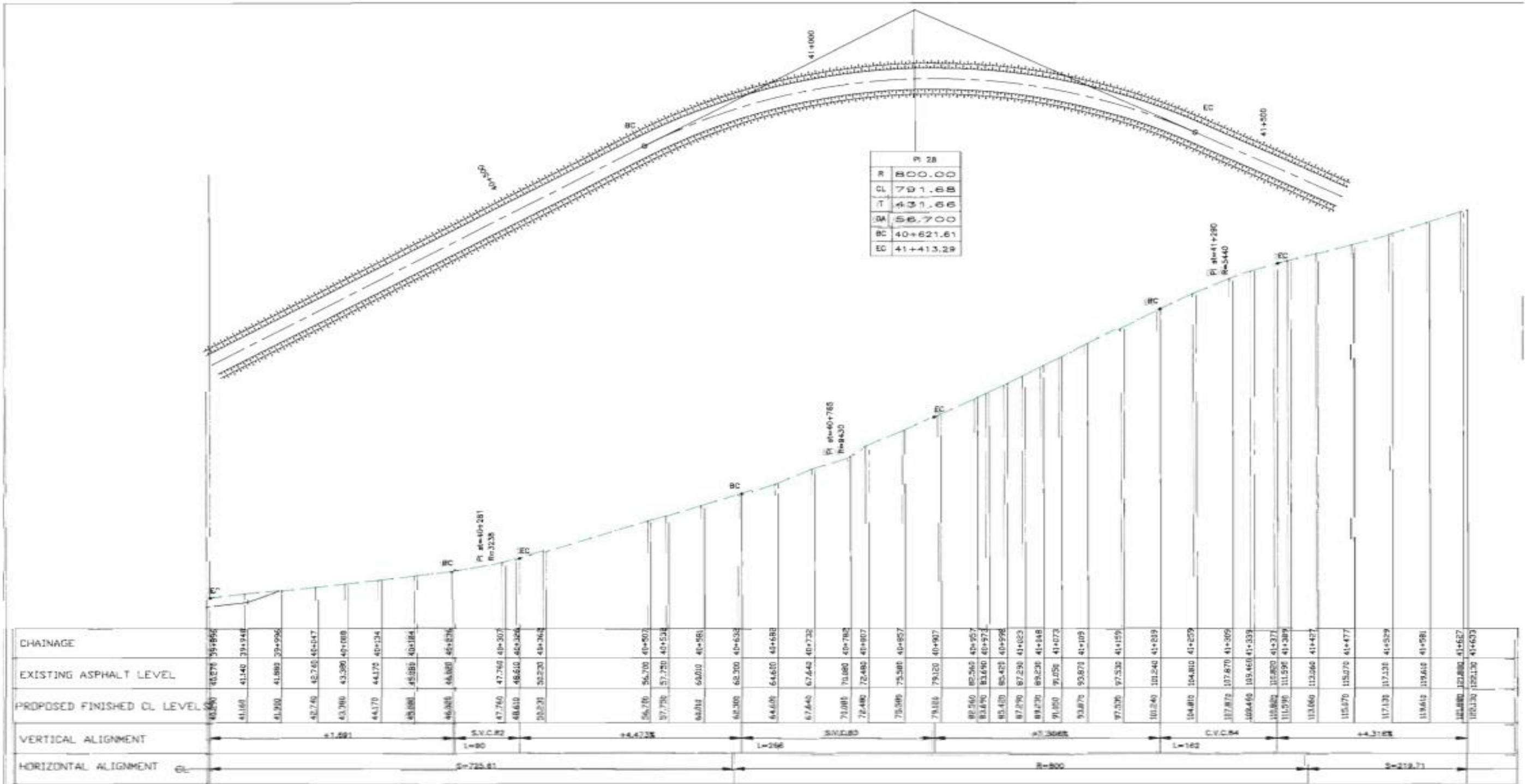




Figura 50. Horizontal and vertical contracted of alignment. (ANE 2017)



CLIENT MINISTRY OF CONSTRUCTION AND WATER NATIONAL DIRECTORATE OF ROADS AND BRIDGES MAPUTO, MOZAMBIQUE	CONSULTANT UNETEC ARCHITECTS & ENGINEERS KUWAIT	JOB CONSULTANT CONSULTEC P.O.BOX 78, MOZAMBIQUE, TEL.(2581)421846, FAX.(2581)421898.	DRAWING TITLE ALIGNMENT DETAILS FROM KM. 33+203 TO KM. 34+563	SCALE H 1:5000 V/PROFILE 1:800 V/PLAN 1:2000	Notes This drawing is copyright. Contractors must check all dimensions on site, and work only to figured dimensions. Any discrepancies to be reported to the consultant before works are carried out.	REMARKS
			DESIGNED A.A.H.	DRAWN M.N.A.		
PROJECT MAPUTO, NAMAACHIA ROAD		HEAD OFFICE, KUWAIT TEL.(965)2 448585, FAX.(965)2 464414 P.O.BOX 84484, SAFAT, KUWAIT 13105 BRANCH OFFICE, CYPRUS TEL.(357)2 360124, FAX.(357)2 360148 P.O.BOX 7435, NICOSIA, CYPRUS 138	JOB NO. UN/C/205	DRAWING NUMBER MZ 0004/MN/22		



<p>CLIENT MINISTRY OF CONSTRUCTION AND WATER NATIONAL DIRECTORATE OF ROADS AND BRIDGES MAPUTO, MOZAMBIQUE</p>	<p>CONSULTANT  UNETEC ARCHITECTS & ENGINEERS KUWAIT</p>	<p>SUB-CONSULTANT  CONSULTEC P.O. BOX 25, MOTAKAMBECH TEL.(2581)421845, FAX.(2581)421890.</p>	<p>DRAWING TITLE ALIGNMENT DETAILS FROM KM 39+896 TO KM 41+633</p>	<p>SCALE H 1:6000 VPROFILE 1:800 VPLAN 1:1200 DESIGNED A.A.R. DRAWN M.S.A. DATE AUG.1991 CHECKED JOB NO. UN/E/103 DRAWING NUMBER MZ 0004/MN/26 REVISION</p>	<p>Notes This drawing is copyright. Contractors must check all dimensions on site, and work only to figured dimensions. Any discrepancies to be reported to the consultant before works are carried out.</p>
<p>PROJECT MAPUTO, NAMAACHA ROAD</p>	<p>HEAD OFFICE, KUWAIT TEL.(965)2 448585, FAX.(965)2 484414 P.O. BOX 24484 SAIFAT, KUWAIT 13105 BRANCH OFFICE, CYPRUS TEL.(357)2 380124, FAX.(357)2 380148 P.O. BOX 7435, NICOSIA, CYPRUS 138</p>				<p>REMARKS</p>

5.5. Apêndices

Seccão Tipo do Pavimento corte transversal.

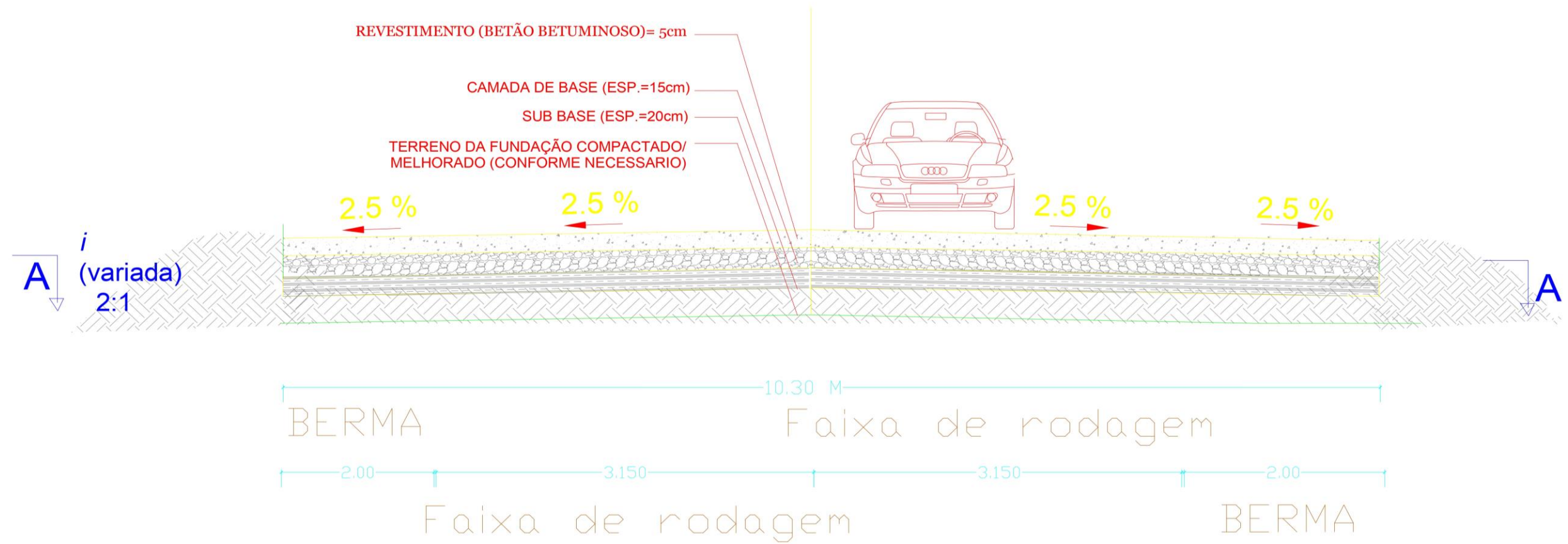


Figura 51. Seccão tipo do pavimento, H3-T4-R. ESCALA: 1:100. (Autor 2023.)

Resultado de ensaio de CBR

DELEGAÇÃO PROVINCIAL DE MAPUTO
LABORATÓRIO PROVINCIAL DE MAPUTO
C.B.R.

FORM T4



CONSULTOR / EMPREITEIRO : ANE-DELEGAÇÃO P. DE MAPUTO DATA: 15-08-2023		ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	
PROJECTO : N2 CRUZ R401/NAMAACHA		Barid. Seca Máx. 1,970 gr/cm ³	
CAMADA ENSAIADA : BASE DE TOUT VENANT KM 2+058 VERIF. POR: ARMINDO		Teor Ópt. Água 8,5 %	
AMOSTRA Nº : _____ EFECT. POR : T. NZUALO			
DESCRIÇÃO DO SOLO : _____			

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE

Água a Adicionar

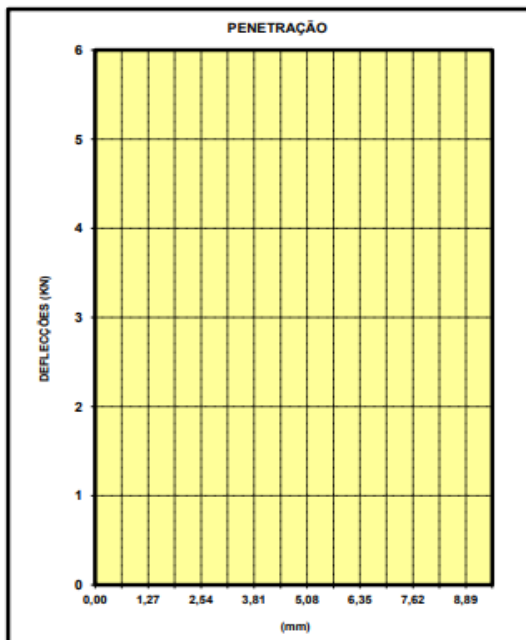
Nº da Cápsula/Molde	Nº	Hygroscópico			Depois da Mistura			Ótimo % (a)	Hygroscópico % (b)
		1G	8G	26G	1G	8G	26G		
Peso do Solo Húmido + Cápsula (P0)	gr		352,00	372,00	374				
Peso do Solo Seco + Cápsula (P1)	gr		327,00	349,00	352,00				
Peso da Cápsula (P2)	gr		58,68	55,92	69,24				
Peso da Água (P3)=(P0)-(P1)	gr		25,00	23,00	22,00				
Peso do Solo Seco (P4)=(P1)-(P2)	gr		268,32	293,08	282,76				
Teor de Humidade W=(P3)/(P4)x100	%	0,0	9,3	7,8	7,8				1530

Moldagem

Expansão

Compactação			55x10x5	25x10x5	55x5,5x3
Nº do Molde	Nº	Nº	C6	C3	C2
Peso do Molde + Solo Húmido (M0)	gr	11885	11754	11361	
Peso do Molde (M1)	gr	6983	7001	6905	
Peso do Solo Húmido (M2)=(M0)-(M1)	gr	4902	4753	4456	
Volume do Molde V	cc	2321	2329	2328	
Baridade Húmida do Solo Dh=(M2)/V	gr/cc	2,112	2,041	1,914	
Teor Humidade da Moldagem W	%	8,3	8,3	8,3	
Baridade Seca do Solo Ds=Dhx100/100+W	gr/cc	1,950	1,884	1,767	
% de Compactação Ds/Ds Máx.x100	%	99,0	95,6	89,7	
Peso Molde+Solo Após Embebiçã (M3)	gr	13460	13385	13025	
Peso Solo Húmido Final (M4)=(M3)-(M1)	gr	6477	6384	6120	
Teor Humidade Final Wf=[M4-(DsxV)]/(DsxV)	%	43,1	45,5	48,8	

Nº do Molde	C6	C3	C2
Leitura Inicial			
Dia 1			
Dia 2			
Dia 3			
Leitura Final			
% Expansão	0,0	0,0	0,0



Nº Molde	C6 Δ		C3 \circ		C2 \square	
	% Mod AASHTO		% Mod AASHTO		% Mod AASHTO	
	99,0		95,6		89,7	
Penetração	Leitura	Corrig.	Leitura	Corrig.	Leitura	Corrig.
	0,00					
	0,64					
	1,27					
	1,91					
	2,54	14,634	9,547		6,808	
	3,18					
	3,81					
	4,45					
	5,08	28,134	17,33		12,094	
	5,72					
	6,35					
	6,99					
	7,62					
	8,26					
	8,89					
	9,52					
Factor do Anel						
CBR	2.5mm=13.344KN		5.0mm=20.016KN		7.5mm=25.354KN	
2,5mm *	109,7		71,5		51,0	
5,0mm **	140,6		86,6		60,4	
% Compactação	98		95		93	
CBR 2,5mm	98,0		69,0		60,0	
CBR 5,0mm	120,0		75,0		72,0	

Resultado de ensaio de Compactação

A.N.E-DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA-RMPC

COMPACTAÇÃO
LABORATÓRIO MAPUTO

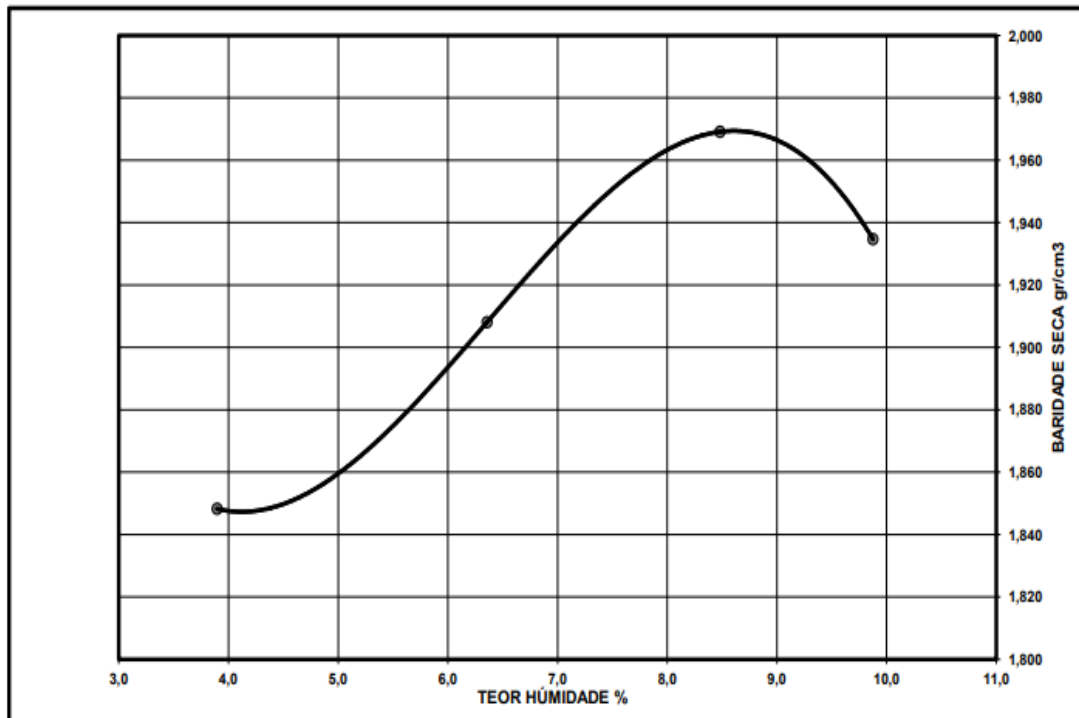
CONSULTOR/EMPREENHEIRO : <u>Delegacao Provincial de Maputo</u>	BARIDADE SECA MÁX. <u>1,970</u> gr/cm ³
PROJECTO : <u>N2 CRUZR401/NAMAACHA</u>	TEOR HUMIDADE ÓPTIMO <u>8,5</u> %
CAMADA ENSAIADA : <u>BASE DE TOUT VENANT KM 2+058</u>	
AMOSTRA Nº : _____ EFECTUADO POR : <u>T NZUALO</u>	VERIFICADO POR: <u>ARMINDO</u> DATA : <u>28/07/23</u>

1. DETERMINAÇÃO DA BARIDADE HÚMIDA

NÚMERO DO MOLDE	Nº	2P	2P	2P	2P
% DE ÁGUA ADICIONADA	%	4	6	8	10
QUANTIDADE DE ÁGUA ADICIONADA	cc	240	360	480	600
PESO DO MOLDE + SOLO HÚMIDO (P1)	gr	9483	9714	9940	9918
PESO DO MOLDE (P2)	gr	5418	5418	5418	5418
PESO DO SOLO HÚMIDO (Ph) = (P1) - (P2)	gr	4065	4296	4522	4500
VOLUME DO MOLDE (V)	cm ³	0,000472	0,000472	0,000472	0,000472
BARIDADE HÚMIDA DO SOLO (Dh) = (Ph)/V	gr/cm ³	1,920	2,029	2,136	2,126

2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE

NÚMERO DA CÁPSULA	Nº	27G	16G	30G	19G
PESO DA CÁPSULA + SOLO HÚMIDO (M1)	gr	378,00	321,00	320,00	311,00
PESO DA CÁPSULA + SOLO SECO (M2)	gr	366,00	305,00	300,00	289,00
PESO DA CÁPSULA (M3)	gr	57,98	53,31	64,17	66,22
PESO DA ÁGUA (Ma) = (M1) - (M2)	gr	12,00	16,00	20,00	22,00
PESO DO SOLO SECO (Ms) = (M2) - (M3)	gr	308,02	251,69	235,83	222,78
TEOR DE HUMIDADE W = (Ma)/(Ms) x 100	%	3,9	6,4	8,5	9,9
BARIDADE SECA SOLO (Ds) = (Dh)x100/100+W	gr/cm ³	1,848	1,908	1,969	1,935



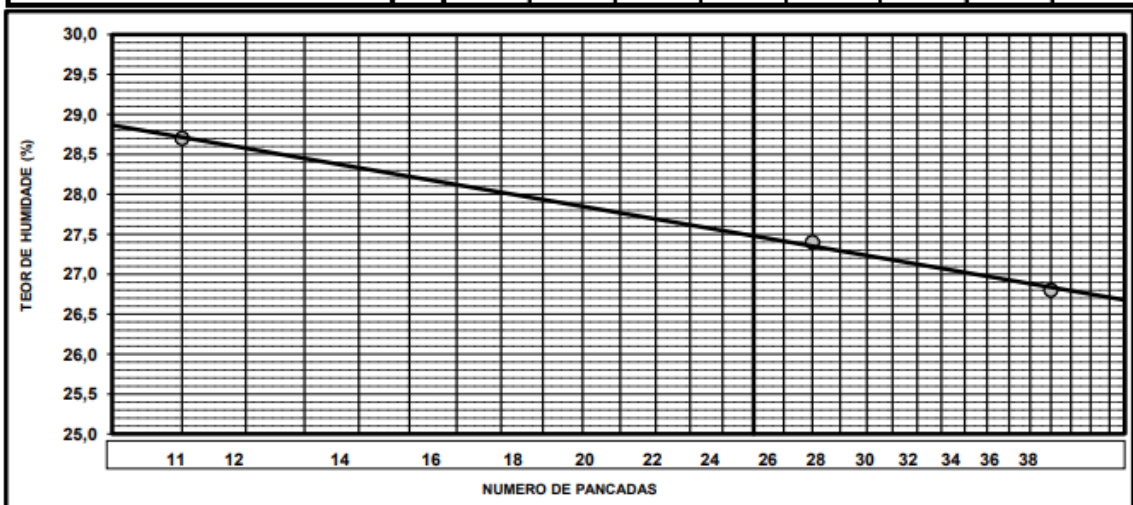
Resultado de ensaio de Limite de Atteberg

ANE-DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
LIMITES ATTEBERG
LABORATÓRIO RMPC MAPUTO

CONSULTOR / EMPREITEIRO : <u>Delegação Provincial de Maputo</u>			
PROJECTO : <u>N2 CRUZ R401/NAMAACHA</u>			
CAMADA ENSAIADA : <u>BASE DE TOUT VENANT KM 2+058</u>			
AMOSTRA Nº :	EFEITUADO POR :	VERIFICADO POR :	DATA :
	<u>T. NZUALO</u>	<u>ARMINDO</u>	<u>28.07.2023</u>
DESCRIÇÃO DO SOLO : _____			

1. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

Nº da Cápsula	Nº	6P	23P	20P				
Peso Solo Húmido + Cápsula (P0)	gr	61,14	63,00	57,20				
Peso Solo Seco + Cápsula (P1)	gr	58,36	60,30	55,04				
Peso da Cápsula (P2)	gr	48,69	50,46	46,97				
Peso da Água P3 = (P0) - (P1)	gr	2,78	2,70	2,16				
Peso do Solo Seco P4 = (P1) - (P2)	gr	9,67	9,84	8,07				
Teor de Humidade W = P3 / P4 x 100	gr	28,7	27,4	26,8				
Nº de Pancadas	Nº	11	26	36				



2. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Nº da Cápsula	Nº	40P	27P					
Peso do Solo Húmido + Cápsula (P0)	gr	49,22	52,48					
Peso Solo Seco + Cápsula (P1)	gr	48,45	51,77					
Peso da Cápsula (P2)	gr	45,46	49,03					
Peso da Água P3 = (P0) - (P1)	gr	0,77	0,71					
Peso do Solo Seco P4 = (P1) - (P2)	gr	2,99	2,74					
Teor de Humidade W = P3 / P4 x 100	gr	25,8	25,9					

3. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE RETRAÇÃO

Nº do Moulde	Nº	5	6		
Comprimento do Moulde (L1)	mm	140,10	140,26		
Distância Retraída (L2)	mm	6,10	5,40		
Retração Linear L.S. = (L2) / (L1) x 100	%	4,4	3,8		

4. RESUMO RESULTADOS

Limite de Liquidez	27,5	%
Limite Plasticidade	25,8	%
Índice Plasticidade	1,7	%
Limite Retração	4,1	%