



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Relatório de Estágio Profissional

## Reabilitação de Estrada em Pavimento Flexível

**Discente:** Davidson Gildo dos Santos Lucas

**Supervisor:**

Eng<sup>o</sup> Celso Nicols

Eng<sup>a</sup> Marieta Chissano

Maputo, Junho de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Relatório de Estágio Profissional

## Reabilitação de Estrada em Pavimento Flexível

**Discente:**

Davidson Gildo dos Santos Lucas

---

**Supervisor:**

Eng.º Celso Nicols

Eng.ª Marieta Chissano

---

Maputo, Junho de 2024

**Relatório de Estágio Profissional, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Civil**

**Autor**

---

**Davidson Gildo dos Santos Lucas**

**Supervisores**

---

**Eng° Celso Nicols**

---

**Eng° Marieta Chissano**



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

## TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Davidson Gildo dos Santos Lucas entregou no dia\_\_\_/\_\_\_/2024 as duas (02) cópias do relatório do seu Estágio profissional com a referência: \_\_\_\_\_,

Intitulado **Reabilitação de Estrada em Pavimento Flexível.**

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

Chefe da Secretaria

---

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a mim, pelo grande esforço, dedicação e pela persistência no curso apesar dos vários obstáculos encontrados durante o percurso acadêmicos.

Aos meus pais e familiares pelo suporte, preocupação e por terem acreditado em mim.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu professor e orientador, Professor Celso Nicols, pela sua grande disponibilidade, competências e conhecimentos transmitidos, pelo esclarecimento de dúvidas, pela grandiosa ajuda e orientação, o meu muito Obrigado;

À instituição CML, um agradecimento especial pelo acolhimento, pela oportunidade de estágio profissional, apoio prestado para que pudesse sempre avançar, e atingir os meus objectivos.

A Sara Mendes pelo apoio, paciência e companhia, por me ouvir e aconselhar.

Aos amigos e primos, por terem entendido as várias vezes que faltei em convívios por estar a estudar.

## RESUMO

A rede rodoviária nacional moçambicana encontra-se praticamente no início da sua construção, sendo maior parte dela realizada com pavimentos flexíveis e em estado de degradação necessitando de reabilitação. Reabilitação esta que deve ser feita com base numa boa seleção do processo de reabilitação e conservação baseando-se nos aspetos de ordem técnica, económica e ambiental.

A construção e reabilitação de estradas é um factor muito importante para o desenvolvimento de qualquer país pois, é através destas acções que os planos de expansão e crescimento são feitos. Tendo em conta esses aspetos, viu-se a necessidade de investir na criação de novas vias e reabilitação das antigas, mantendo a qualidade e o período de vida, para assim garantir o aumento do nível de crescimento e conforto dos cidadãos.

Os pavimentos rodoviários flexíveis estão sujeitos a diversos tipos de ações, que provocam a sua progressiva degradação, através de mecanismos de ruína, refletindo-se em diversas patologias, cuja evolução tem como consequência a sua ruína final. É nesse pensamento que se desenvolveu o trabalho que visa avaliar as patologias, os métodos de construção e, por fim a reabilitação do pavimento que liga a Av. União africana e Av. Do Trabalho.

O objectivo do presente trabalho consiste na apresentação de diferentes tipos de patologias, métodos de reabilitação existentes e por fim, o mais importante, descrição das actividades realizadas na reabilitação do pavimento em causa.

Para esse efeito, foram retiradas imagens das diferentes fazes de execução da reabilitação e anexadas na descrição feita no capítulo 4, e feita uma pesquisa exaustiva sobre os tipos de patologias e tipos de reabilitação.

## Abstract

The Mozambican national road network is practically at the beginning of its construction, with most of it being carried out using flexible pavements and in a state of degradation requiring rehabilitation. This rehabilitation must be done based on a good selection of the rehabilitation and conservation process based on technical, economic and environmental aspects.

The construction and rehabilitation of roads is a very important factor in the development of any country, as it is through these actions that expansion and growth plans are made. Taking these aspects into account, there was a need to invest in the creation of new roads and the rehabilitation of old ones, maintaining quality and life span, to ensure an increase in the level of growth and comfort of citizens.

Flexible road pavements are subject to different types of actions, which cause their progressive degradation, through ruin mechanisms, resulting in various pathologies, the evolution of which results in their final ruin. It is with this in mind that the work aimed at evaluating the pathologies, construction methods and, finally, the rehabilitation of the pavement that connects Av. União africana and Av. Do Trabalho was developed.

The objective of this work is to present different types of pathologies, existing rehabilitation methods and finally, most importantly, a description of the activities carried out in the rehabilitation of the pavement in question.

For this purpose, images of the different stages of rehabilitation were taken and attached to the description made in chapter 4, and exhaustive research was carried out on the types of pathologies and types of rehabilitation.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento geral.....	1
1.2. Formulação do problema.....	1
1.3. Objectivos.....	2
1.3.1. Objectivo geral.....	2
1.3.2. Objectivo específicos.....	2
1.4. Metodologia.....	2
1.5. Estrutura do trabalho.....	3
2. Revisão Bibliografica.....	4
2.1. Pavimentos Rodoviários Flexíveis.....	4
2.2. Comportamento dos Pavimentos.....	5
2.3. Degradação dos Pavimentos.....	7
2.3.1. Deformação.....	10
2.3.2. Fendilhamento.....	13
2.3.3. Desagregação.....	17
2.3.4. Movimento de Materiais.....	19
2.3.5. Manchas de Humidade.....	20
2.3.6. Reparações Localizadas.....	20
3. Reabilitação de Pavimentos.....	21
3.1. Reabilitação Funcional.....	22
3.1.1. Revestimentos Betuminosos Superficiais.....	24
3.1.2. Microaglomerado Betuminoso a Frio.....	27
3.1.3. Lama Asfáltica.....	28
3.1.4. Microbetão Betuminoso Rugoso.....	29
3.1.5. Argamassa Betuminosa.....	30
3.1.6. Betão Betuminoso.....	30
3.1.7. Betão Betuminoso Drenante.....	31
3.1.8. Betão Betuminoso de Alto Módulo.....	32
3.1.9. Macadame Betuminoso.....	33
3.1.10. Reparações Localizadas.....	33
3.2. Reabilitação Estrutural.....	34
3.2.1. SAMI's.....	37

3.2.2.	Geotêxtil Impregnado com Betume.....	37
3.2.3.	Armaduras e Grelhas.....	39
3.2.4.	Fresagem.....	40
3.2.5.	Reciclagem.....	41
4.	Reabilitação da estrada que serve de ligação entre a Av. do Trabalho e a Av. União Africana 51	
4.1.	Limpeza da via.....	51
4.2.	Identificação das patologias.....	51
4.3.	Escolha do método de reabilitação a aplicar.....	52
4.3.1.	Reconstrução da base.....	52
4.4.	Aplicação do revestimento em asfalto a uma espessura de 4cm.....	55
5.	Conclusões.....	57
6.	Recomendações.....	58
7.	Referencias bibliográficas.....	59

## LISTA DE SÍMBOLOS

**AASHTO** – American Association of State Highway of Transportation officials

**ANE** - Administração Nacional de Estradas

**CBR** – California Bearing Ratio

**SAMI** – Stress Absorving Membrane Interlayer

**mm** – Milímetro

**kN** – Quilo newton

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**m** – metro

**MC** – Mistura Convencional

**MDRPF** – Manual de Dimensionamento do Reforço de Pavimentos Flexíveis

**MPa** – Mega pascal

**Nf** – Resistência à fadiga (nº de passagens do eixo-padrão)

**RCD** – Resíduos de Construção e Demolição

**SAM** – Stress Absorving Membrane

**SAMI** – Stress Absorving Membrane Interlayer

**SAMI-R** – Rubberized Stress Absorving Membrane Interlayer

**Vb** – Volume de betume da mistura betuminosa

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Execução do revestimento asfáltico.....	4
Figura 2: Camadas do pavimento flexível Figura (Pescarini 2011).....	4
Figura 3: Constituição e comportamento do pavimento flexível (Branco et al., 2008).....	5
Figura 4: Ações e solicitações sob um pavimento rodoviário flexível (Branco et al., 2008).....	7
Figura 5: Sequência e interação das patologias (Pereira & Miranda, 1999).....	9
Figura 6: Rodeiras de pequeno raio.....	11
Figura 7: - Rodeiras de grande raio.....	12
Figura 8: Diferentes tipos de fendilhação (traduzido de Colombier, 1997).....	13
Figura 9: Diferente aspeto das fendas (traduzido de Colombier, 1997).....	15
Figura 10:Diferentes tipos de desagregação (Estradas de Portugal, 2008).....	17
Figura 11: Tipos de revestimento betuminoso superficial (Perera & Miranda, 1999).....	25
Figura 12: Processo de aplicação dos revestimentos betuminosos superficiais (Pereira & Miranda, 1999).....	27
Figura 13: Esquema de equipamento para fabrico e colocação em obra de microaglomerado betuminosa a frio ou lama asfáltica (Branco et al., 2008).....	28
Figura 14: - Camada de desgaste drenante, transição entre faixa de rodagem e berma (Pereira & Miranda, 1999).....	32
Figura 15: Estratégias normalmente adotadas na reabilitação estrutural de pavimentos fendilhados (Minhoto, 2005).....	36
Figura 16: Sobreposição longitudinal e transversal de geotêxtil para impregnação com betume (imagem Fibertex Nonwovens).....	38
Figura 17: Camara de expansão para obtenção do betume espuma (adaptado de Wirtgen, 2001). 45	45
Figura 18: Esquema do “comboio” de intervenção no processo de reciclagem "in situ" a quente com betume/rejuvenescedor (Martinho, 2005).....	47
Figura 19: Central móvel de reciclagem a quente (Pereira & Miranda, 1999 – EAPA).....	50
Figura 20: Remoção do Alcatrão degradado.....	52
Figura 21: limpeza e escarificação da via com recurso a niveladora.....	53
Figura 22: Preparação e rega do MC30; a) motobomba e tambor de MC30; b) limpeza da via; c) rega do MC30; d) base regada com o MC30.....	54
Figura 23: Aplicação do revestimento em asfalto a uma espessura de 4cm.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Famílias e tipos de patologias (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).....	8
Tabela 2: Classificação da relação "causa-efeito" das degradações e os seus fatores de degradação (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).....	10
Tabela 3: Propriedades mecânicas de duas misturas SAMI (Shatnawi et al. 2011).....	37
Tabela 4: - Propriedades mecânicas de um geotêxtil impregnado com betume (Correia, 2010).....	38
Tabela 5: Módulo de deformabilidade de armaduras e grelhas.....	40



## 1. INTRODUÇÃO

Uma das infra-estruturas mais importantes para o desenvolvimento de uma região é a Rede Rodoviária, pelo que é fundamental não só a sua concepção, devidamente articulada, mas também assegurar a qualidade na construção e, a posterior, no seu funcionamento no que se refere ao nível de serviço pretendido como em termos de segurança.

### 1.1. Enquadramento geral

Com o decorrer do tempo os pavimentos rodoviários sofrem grandes alterações referentes às suas características iniciais, quer sejam em questões superficiais como deterioração da camada de desgaste ou até os níveis de comprometimento estrutural da faixa de rodagem. Nesse âmbito se desenvolve a temática da manutenção e da reabilitação dos pavimentos, que surge de forma a garantir a segurança necessária para a utilização da via juntamente com a necessidade do menor investimento económico, contemplando assim dois pilares básicos para o desenvolvimento de um pavimento de qualidade, que são as condicionantes económicas e nível de serviço desejado.

Ao longo de sua vida os pavimentos rodoviários sofrem grandes solicitações, sendo elas em decorrência de ações climáticas ou por ações do tráfego, quer em termos de volume tráfego, quer em termos da sua agressividade. Tais solicitações se traduzem em degradações que afetam diretamente todos os usuários da mesma, pois “As vias de comunicação e, em particular as redes rodoviárias, constituem a infra-estrutura fundamental para o desenvolvimento global de quaisquer pais.” (PEREIRA & MIRANDA, 1999).

É nesta ordem de ideia que se desenvolve o presente relatório que corresponde uma das formas de culminar o curso em Estágio profissional, desenvolvido pelos estudantes finalistas nas instituições ou empresas, e visa profissionalizar em sua área de formação. Pretende-se, conceder aos mesmos o primeiro contacto com o ambiente de trabalho e prover os estudantes finalistas de conhecimentos práticos no exercício de suas funções profissionais.

### 1.2. Formulação do problema

É de notar que o município de Maputo tem enfrentado problemas sérios de degradação das rodovias, principalmente no centro da cidade, daí vem a necessidade de realizar reabilitações para proporcionar melhores condições de trânsito e vias de acessos alternativos, sem recorrer a grandes alterações do que estava previamente feito. Nesta ordem de ideia, surgiu a necessidade de reabilitar a estrada que serve de ligação da Av. do Trabalho e a Av. União Africana que foi feita em asfalto. Tal reabilitação esta relacionada com o aumento da vida útil do pavimento flexível, para proporcionar conforto e comodidade para os condutores, reduzindo os riscos de acidentes e aumentando a vida útil das viaturas que se farão a via.

### 1.3. Objectivos

#### 1.3.1. Objectivo geral

Reabilitação da estrada que serve de ligação entre a Av. do Trabalho e a Av. União Africana

#### 1.3.2. Objectivo específicos

Constituíram os objectivos específicos deste relatório:

- Identificação das Patologias
- Requalificação da base
- Rega de MC30
- Aplicação de SS60 e asfatação

### 1.4. Metodologia

Apresentar-se-á uma descrição das características e dos aspetos principais relacionado com o pavimento empregue na rodovia, recorrendo a revisões bibliográficas e normas vigentes no país.

Numa primeira parte do trabalho apresentar-se-á uma descrição das características e dos aspetos principais relacionado com o pavimento empregue na rodovia. Nesta parte apresentar-se-á aspetos relacionado com a constituição, e o comportamento perante as solicitações que são sujeitas.

Posteriormente, abordam-se as principais patologias passíveis de ocorrer em pavimentos rodoviários flexíveis, expressando a ligação entre as causas do seu surgimento, o respetivo efeito sobre a qualidade do pavimento e a relação entre as diferentes patologias. Neste contexto, aborda-se a técnicas de reabilitação quer funcional quer estrutural, recorrendo a pesquisas em sites, bibliografias estrangeiras e/ou nacionais.

Serão expostos os principais conceitos relativos á conservação rodoviário. Dando enfoque às pequenas reparações do tipo selagem/preenchimento de fendas e tapamento de covas, apresentando-se os aspetos relacionado com a seleção, aplicação e avaliação de materiais e procedimentos de reparação.

Por fim, apresentar-se-á a solução aplicada e os motivos para a escolha da solução. Baseando-se na solução aplicada na obra.

### 1.5. Estrutura do trabalho

O relatório apresenta-se subdividido em 7 capítulos, com a seguinte estrutura:

Capítulo 1 – Introdução, referindo-se ao problema de pesquisa, os objectivos, a metodologia e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, onde far-se-á a descrição das características e dos aspetos principais relacionado com o pavimento empregue na rodovia, e principais patologias.

Capítulo 3 – Considerações a tomar na reabilitação de Pavimentos e diferentes tipos de reabilitação.

Capítulo 4 – Apresentar-se-á a solução aplicada e os motivos para a escolha da solução.

Capítulo 5 – Conclusões, onde se encontram algumas considerações acerca das actividades acompanhadas e considerações finais inerentes à experiência adquirida durante o estágio.

Capítulo 6 – Recomendações, dar-se-á algumas recomendações e aspetos a tomar em consideração para reduzir o custo de reabilitação de pavimentos e vida útil do mesmo

Capítulo 7 – referencias bibliográficas usadas para a elaboração do trabalho.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Pavimentos Rodoviários Flexíveis

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

O pavimento flexível (Figura 1) é constituído de uma camada de rolamento de pequena espessura, aplicada sobre camadas de base e de sub-base que são construídas sobre o subleito compactado, sendo que as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são geralmente de materiais granulares ou solo.

Dependendo das características de suporte do subleito, um pavimento flexível pode ser constituído por uma das seguintes formas:

- Revestimento + base.
- Revestimento + base + sub-base.
- Revestimento + base + sub-base + reforço do subleito (conforme figura 2)



Figura 1: Execução do revestimento asfáltico

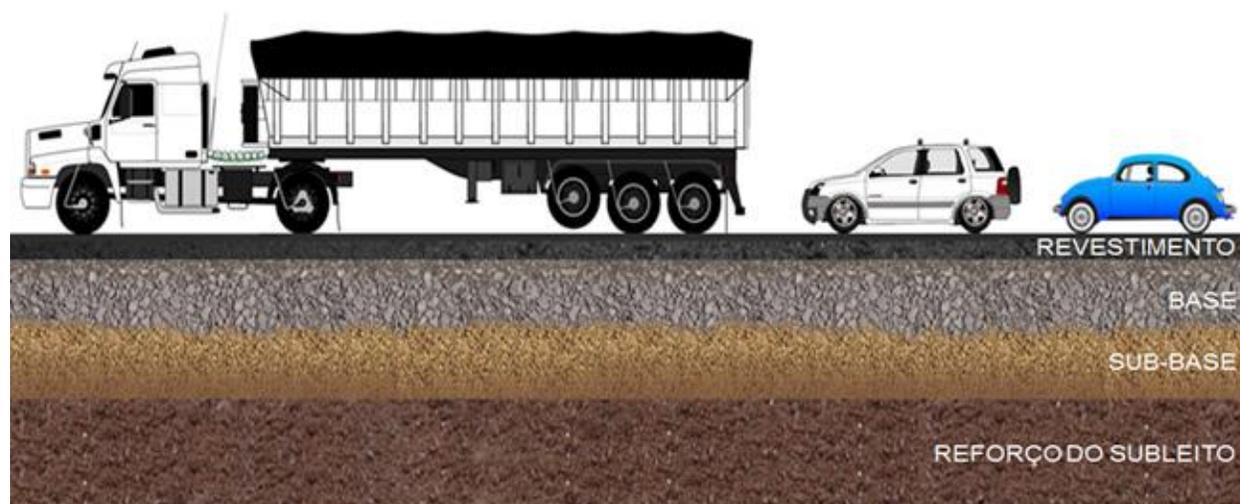


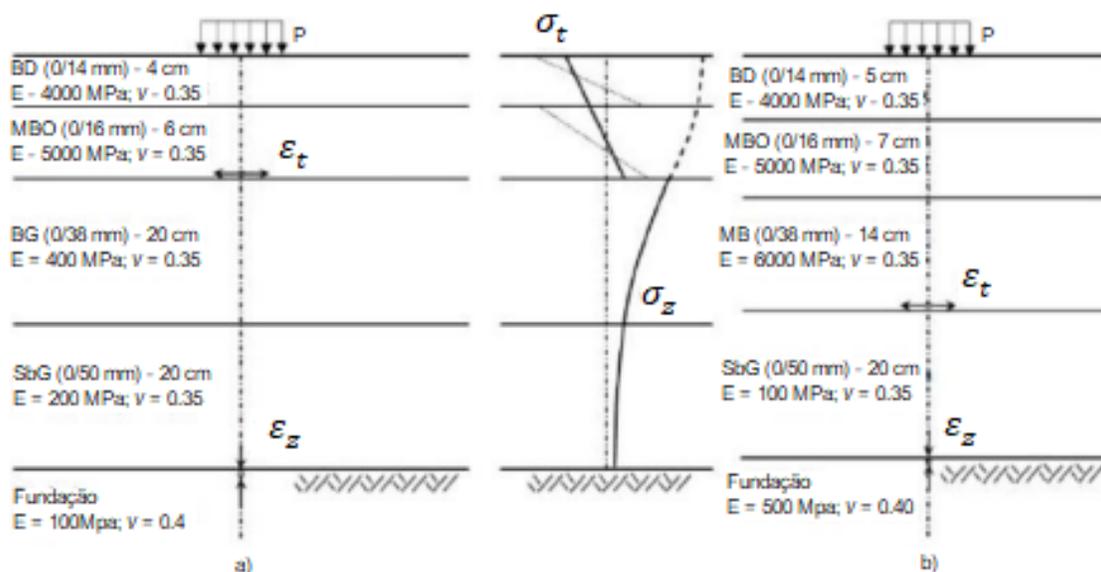
Figura 2: Camadas do pavimento flexível Figura (Pescarini 2011).

## 2.2. Comportamento dos Pavimentos

Um pavimento rodoviário flexível pode ter uma constituição muito variada, adotando-se diferentes estruturas em função da intensidade do tráfego, da capacidade de suporte do solo de fundação, das características dos materiais e outras condicionantes impostas por aspetos de utilidade ou de traçado.

Na figura 3 apresentam-se duas, de entre as muitas, estruturas de pavimento rodoviário flexível propostas pelo Manual de Conceção de Pavimentos para Rede Rodoviária Portuguesa, da Junta Autónoma de Estradas (JAE, 1995):

- Destinada a um tráfego reduzido, considerando uma fundação de elevada capacidade de suporte;
- Destinada a um tráfego intenso, considerando uma fundação de reduzida capacidade de suporte.



### Legenda:

BD: Betão betuminoso em camada de desgaste

MBO: Mistura betuminosa densa em camada de regularização

MB: Macadame betuminoso em camada de base

BG: Base granular;

SbD: Sub-base granular em material britado sem recomposição ("tout-Venant") ou com recomposição em central

Figura 3: Constituição e comportamento do pavimento flexível (Branco et al., 2008).

Os pavimentos rodoviários flexíveis apresentam na sua constituição camadas de materiais granulares e betuminosas, assentes sobre um solo de fundação natural ou de qualidade controlada (aterros e solos tratados). As camadas superiores são constituídas por misturas betuminosas, compostas por agregados de granulometria variada e estabilizados por ligantes hidrocarbonados, sendo geralmente utilizado o

betume asfáltico.

As camadas granulares, cuja resistência depende apenas do atrito interno entre partículas, são concebidas para suportar os esforços de compressão, que são máximos à superfície e reduzem com a profundidade, em função das características resistentes das camadas do pavimento, incluindo camadas betuminosas, granulares e solo de fundação.

As camadas betuminosas são camadas constituídas por materiais ligados, dotadas de coesão, e que proporcionam a capacidade de suportar todos os tipos de esforços (compressão, tração e corte), são por esse motivo utilizadas nas camadas superiores onde ficam sujeitas à flexão.

Na figura 3 representa-se as tensões instaladas em todo o pavimento tendo em consideração as camadas betuminosas “coladas” (traço contínuo) ou “descoladas” (traço descontínuo).

Pode verificar-se que quando as camadas betuminosas se encontram “descoladas” entre si, ocorrem tensões máximas de compressão na face superior e tensões de tração máximas na face inferior das duas camadas betuminosas. Desta forma, quando as camadas betuminosas se encontram “descoladas” são sujeitas a um estado de tensão muito mais severo e degradante.

Nos casos em que as camadas betuminosas são “coladas”, estas atuam em conjunto como se fossem uma só camada e as tensões evoluem de uma tensão de compressão na face superior do pavimento até uma tensão de tração na face inferior da camada em contacto com a base, com valores de tensão inferiores aos verificados na situação de camadas betuminosas “descoladas”.

Desta forma, torna-se preferencial que as camadas betuminosas sejam “coladas” entre si, sendo para isso, aplicada uma rega de colagem com ligantes betuminosos entre as camadas. No entanto, pode surgir um grave problema quando as camadas, inicialmente projetadas como “coladas”, descolam. Provocando um excesso de tensões de tração na face inferior da última camada betuminosa, superiores à tensão de tração admissível projetada, e a camada de desgaste fica sujeita a esforços de tração, para os quais nem foi concebida.

Os pavimentos flexíveis, como o próprio nome indica, apresentam um comportamento flexível, deformável. Esse comportamento é determinado pelo número e espessura das camadas, pelas características dos materiais e da fundação, sendo afetado pelo estado de conservação e pelas ações atuantes.

As ações atuantes no pavimento podem ser divididas em dois grupos: as resultantes do tráfego rodoviário e as geradas pelos agentes climatéricos, tal como representado na figura 4.

Do tráfego rodoviário resultam solicitações sob a forma de pressões verticais e de forças tangenciais consequentes do contacto entre os pneus e o pavimento.

Dos agentes climatéricos, nomeadamente, a pluviosidade que provoca a infiltração de água na fundação e/ou nas camadas do pavimento, variações temperatura e a

conjugação destes dois últimos, resultam alterações das características comportamentais dos materiais, esforços de tração e de compressão.

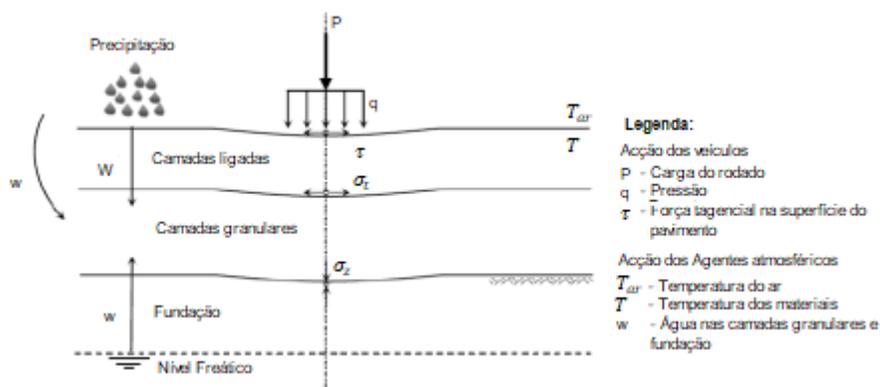


Figura 4: Ações e solicitações sob um pavimento rodoviário flexível (Branco et al., 2008).

A degradação das camadas betuminosas é afetada pelas variações de temperatura e pela exposição à luz solar, que provocam o envelhecimento do betume. A rigidez da mistura betuminosa varia inversamente à temperatura da mesma, ou seja, aumentando a temperatura reduz a rigidez e diminuindo a temperatura aumenta a rigidez. Menor rigidez traduz-se em maior deformabilidade, noutro extremo, muita rigidez traduz-se num comportamento frágil da mistura.

Nas camadas betuminosas há ainda que considerar os efeitos do derrame de químicos sobre elas, nomeadamente os combustíveis, que têm a propriedade de fluidificar o betume, ou seja, diminuir a sua viscosidade.

As camadas granulares e o solo de fundação são afetados pelo teor de água, diminuindo a sua resistência com o aumento do teor de água.

### 2.3. Degradação dos Pavimentos

Imediatamente após a construção dos pavimentos rodoviários, estes são submetidos à contínua e repetida exposição a ações que conduzem à progressiva perda da qualidade inicial do pavimento, ou seja, degradação.

A progressiva degradação torna-se visível com o aparecimento de patologias que conduzem a uma diminuição das características estruturais e funcionais dos pavimentos rodoviário.

As alterações nas características estruturais conduzem a deficiências no comportamento estrutural que resultam no avanço da degradação do pavimento, no surgimento de novas patologias e por fim na rotura do pavimento rodoviário.

A nível funcional é afetada a aderência entre pneus-pavimento, revelam-se más condições acústicas e desconforto, sendo sobretudo posta em causa a segurança dos utilizadores.

A progressiva evolução da degradação dos pavimentos flexíveis é influenciada por um conjunto de fatores, possíveis de agrupar em fatores passivos e fatores ativos (Pereira

& Miranda, 1999):

- Fatores passivos, traduzem as características do pavimento construído, como, espessura das camadas, materiais utilizados e qualidade da construção;
- Fatores ativos, traduzem as ações do tráfego rodoviário e dos agentes climatéricos.

O surgimento de patologias pode ser um sinal natural da aproximação do fim da vida útil de um pavimento, no entanto quando surgem precocemente significa que algo anormal ocorreu, podendo antecipar o fim da vida útil esperado.

Não obstante dos fatores passivos e ativos, a degradação antecipada pode ser o resultado da fiabilidade do método de dimensionamento, alterações no tráfego rodoviário esperado, intempéries ou má qualidade de construção.

É necessário ter em consideração que os métodos de dimensionamento têm uma elevada componente empírica e ainda que os pavimentos rodoviários têm uma vasta extensão, sendo construídos sobre obras de arte, aterros, escavações e diversos tipos de solos, com diversas características distintas.

Frequentemente, alterações no tráfego rodoviário esperado para a vida útil do pavimento, conduzem à conseqüente alteração da vida útil. Essas alterações no tráfego podem estar relacionadas com a economia da região que a estrada serve, com a economia do próprio país, com a construção de edifícios, construção de outras estradas, etc.

As primeiras patologias visivelmente detetáveis nos pavimentos rodoviários, são as deformações e o fendilhação das camadas betuminosas, no entanto, existe uma grande variedade de patologias passíveis de ocorrer nos pavimentos flexíveis e que resultam da evolução ou da conjugação destas.

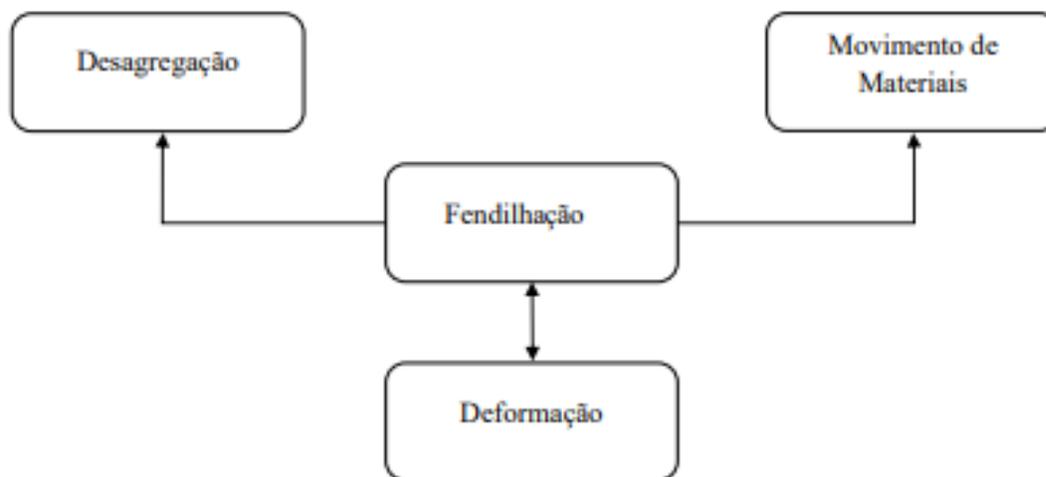
Na tabela 1 apresentam-se as diversas patologias possíveis de ocorrer em pavimentos rodoviários flexíveis e que irão ser descritas sucintamente neste capítulo. De acordo com a tabela 1, estas patologias podem ser agrupadas em quatro famílias de patologias com características semelhantes: deformações, fendilhação, desagregação e movimento de matérias. Além das patologias agrupáveis, existem ainda: as reparações localizadas e as manchas de humidade.

*Tabela 1: Famílias e tipos de patologias (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).*

Família de Patologias	Tipos de Patologias
Deformação	Rodeiras (pequeno raio, e grande raio) Abatimento (Longitudinal, e transversal) Deformações localizadas Ondulação
Fendilhação	Fendas Isoladas (Longitudinais, e transversais) Fendas Múltiplas Pele de crocodilo (malha fina, e malha larga)
Desagregação	Polimento

	Desagregação superficial Ninhos ou covas Pelada
Movimento de Materiais	Exsudação Subida de finos
Outras	Manchas de humidade Reparações Localizadas

As quatro famílias de patologias exibem uma evidente relação entre si, tal como é demonstrado na figura 5.



*Figura 5: Sequência e interação das patologias (Pereira & Miranda, 1999).*

O fendilhação e a deformação têm uma interação mútua, ou seja, o aparecimento do fendas pode dar origem à deformação, assim como o aparecimento da deformação pode dar origem a fendilhação.

Já a desagregação e o movimento de materiais têm uma relação direta com a fendilhação, pois estas são uma evolução ou consequência do próprio fendilhação.

Na tabela 2 é estabelecida uma relação “causa-efeito” proposta por Pereira & Miranda (1999) e aqui adaptada às denominações adotadas no desenvolvimento deste trabalho. Na tabela é estabelecida a relação entre os fatores de degradação (causa) e os tipos de patologia (efeito), através do número de asteriscos (\*), sendo a relação de “causa-efeito” classificada como: forte (\*\*\*) , média (\*\*) e fraca (\*)

Esta classificação de “causa-efeito” tem como por objetivo elucidar sobre os principais fatores de degradação, sendo estes abordados de forma mais aprofundada nos subcapítulos seguintes. Deve ser tido em consideração que no diagnóstico de casos reais, não se dispensa a observação “in situ” e estudo da patologia de forma a determinar a(s) causa(s) correta(s) da degradação.

*Tabela 2: Classificação da relação “causa-efeito” das degradações e os seus fatores de*

degradação (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).

Patologia	Fatores de Degradação									
	Condições de drenagem	Subdimensionamento da camada de desgaste	Subdimensionamento das camadas e Capacidade de suporte da fundação	Capacidade de suporte da fundação	Camadas estruturais de reduzida	Deficiências de fabrico e execução	Qualidade dos materiais	Deficiente ligação entre camadas	Agressividade do tráfego rodoviário	Ações climáticas
Rodeiras de pequeno raio		***			***	**	**		***	***
Rodeiras de grande raio	***	*	**	***	***	*	**		**	**
Abatimento	***		**	***	***	**	*		*	*
Deformação localizada	***		**	***	**	**	*		**	*
Ondulação		**	**	***	**	***	*		**	*
Fendas isoladas	**	**	**	**	***	**	***	**	***	***
Fendas múltiplas	*	**			**	**	**	***	***	***
Pele de crocodilo	**	**	**	**	***	**	***	***	***	***
Polimento		*				**	**		***	*
Desagregação superficial					**	***	***		**	***
Ninhos		**	*		***	***	***	**	**	**
Pelada		***	*		**	**	**	***	***	**
Exsudação						**	***		***	***
Subida de finos	***				*	*	**		**	**
Manchas de humidade	***				**	**	*		**	**

### 2.3.1. Deformação

A deformação caracteriza-se por depressão do pavimento relativamente ao seu nível original. Dentro da família das deformações existem quatro tipos de patologias: rodeiras, abatimento, deformações localizadas e ondulação.

Estas patologias devem-se, essencialmente, à falta de capacidade de carga do solo

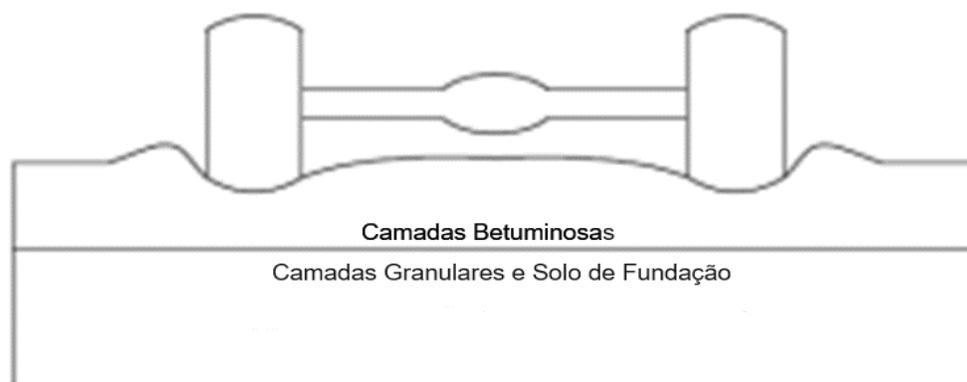
de fundação, baixa compactidade das camadas constituintes do pavimento e deficientes condições de drenagem.

### ► Rodeiras

As rodeiras são deformações longitudinais que se formam na zona de passagem dos rodados dos veículos e podem ser classificadas como rodeiras de pequeno ou grande raio.

As rodeiras de pequeno raio resultam principalmente de fatores que atuam sobre as camadas betuminosas do pavimento rodoviário, tais como, a má qualidade dos agregados, inadequada composição da mistura betuminosa e do ligante, deficiente compactação da mistura, temperaturas elevadas e tráfego pesado e lento, ver figura 6.

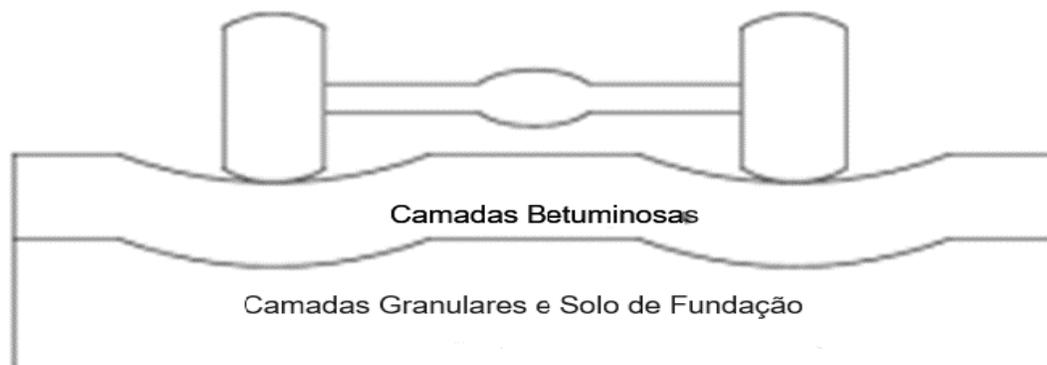
A conjugação de temperaturas elevadas e tráfego pesado e lento, a atuarem sobre um pavimento rodoviário flexível com limitada resistência a deformações permanentes, resultam na deformação das camadas betuminosas, com particular incidência sobre a camada de desgaste.



*Figura 6: Rodeiras de pequeno raio.*

As rodeiras de grande raio são o resultado de fatores atuantes sobre as camadas granulares e solo de fundação, como, a presença de água no solo de fundação e/ou camadas granulares, deficiente compactação das camadas granulares e baixa capacidade de suporte do solo de fundação, ver figura 7.

Nas camadas granulares e no solo de fundação, a presença de água pode alterar o equilíbrio das partículas, fazendo com que se perca capacidade de suporte, ou mesmo permitir que partículas mais pequenas sejam arrastadas e que conseqüentemente se criem vazios nas camadas granulares, tendo como resultado a cedência do pavimento sob a passagem do tráfego rodoviário.



*Figura 7: - Rodeiras de grande raio.*

A formação das rodeiras provoca um acréscimo de esforços de tração que por sua vez podem originar o aparecimento de fendas. Desta feita, o aparecimento do fendilhamento vai permitir a entrada de água pelas camadas betuminosas até às camadas granulares e fundação, e assim, contribuir para o aumento da profundidade e extensão das rodeiras.

### **Abatimento**

O abatimento é uma deformação com extensão significativa, que se pode manifestar longitudinalmente ou transversalmente nos pavimentos rodoviários flexíveis e tem origem nas camadas granulares ou no solo de fundação.

O abatimento transversal pode dever-se à deficiente compactação das camadas granulares, subdimensionamento das camadas inferiores, falta de capacidade de suporte do solo de fundação, à infiltração de água por fendas transversais e colapso de cavidades subterrâneas.

É frequente ocorrerem situações de abatimento transversal em zonas de encontro entre pontes, viadutos, sistemas de drenagem transversal e em zonas de alternância entre trechos em aterro e trechos em escavação, após a entrada em serviço dos pavimentos rodoviários flexíveis.

O abatimento longitudinal quando localizado junto à berma pode resultar da deficiente compactação de taludes de aterro, da infiltração de água pela berma ou pela interface berma-pavimento, que provocam uma perda de capacidade de suporte das camadas granulares e/ou do solo de fundação.

Quando o abatimento longitudinal se localiza ao longo do eixo, pode ser o resultado da infiltração de água por fendas longitudinais nas juntas de trabalho ao longo do eixo, resultando na perda de capacidade de suporte das camadas granulares e/ou do solo de fundação.

### **Deformações Localizadas**

Deformações localizadas são depressões resultantes da rotura numa pequena área do pavimento, tendo como possíveis origens, a falta de capacidade de suporte do solo de

fundação, infiltração de água e sujeição a cargas elevadas por longos períodos.

Este tipo de patologias está muito presente em zonas urbanas e tem uma grande tendência a aparecer após repavimentações que não tiver em consideração a correção de patologias previamente existentes.

Um outro tipo de deformação localizada, normalmente presente em vias secundárias sem distância mínima relativamente à arborização, é a elevação do pavimento provocada pelas raízes das árvores. Podendo apresentar uma grande elevação com pequeno raio, constituindo um grande risco para a segurança rodoviária.

### Ondulação

A ondulação são deformações transversais que se repetem com uma determinada frequência ao longo do pavimento.

A sua origem pode estar nas misturas betuminosas, como resultado de uma má distribuição do ligante da camada de desgaste ou do arrastamento da mistura betuminosa devido à excessiva deformação plástica sob a ação do tráfego.

Podendo também resultar do assentamento por consolidação diferencial do solo de fundação e da deficiente compactação de aterros, tendo assim origem na fundação e nas camadas granulares, respetivamente.

#### 2.3.2. Fendilhamento

O fendilhamento ou fendilhação é uma família de patologias muito presentes nos pavimentos rodoviários, sendo frequentemente o primeiro sinal de perda de qualidade dos mesmos.

A sua manifestação apresenta-se através de fendas isoladas longitudinais ou transversais.

Com a progressiva degradação, as fendas isoladas, tendem a adquirir ramificação que pode chegar a interligar fendas longitudinais e transversais, dando origem à fendilhação múltipla, que por sua vez, num estado muito avançado da degradação, origina a “pele de crocodilo”, tal como se representa na figura 8.

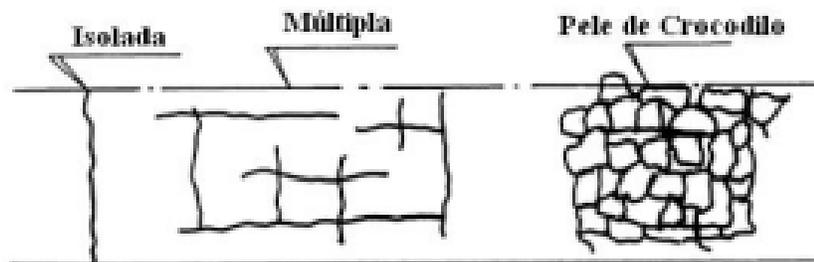


Figura 8: Diferentes tipos de fendilhação (traduzido de Colombier, 1997).

Existe um vasto número de fatores que podem levar ao surgimento do fendas, no geral associados: à fadiga das misturas betuminosas, às variações térmicas, a deformações e à reflexão de fendas em repavimentações sobre pavimentos fendilhados.

O ponto de abertura da fenda tem uma relação direta com o fator que a originou e pode influenciar o avanço da degradação do pavimento rodoviário flexível, esta pode iniciar-se na superfície do pavimento rodoviário flexível ou na base das camadas betuminosas, podendo não ser necessariamente a camada betuminosa que contacta com as camadas granulares.

As fendas com origem na base da camada betuminosa são o resultado da fadiga da camada betuminosa, da reflexão de fendas ou da aplicação de um elevado esforço de tração para o qual o pavimento não estava projetado, tal como, a existência de uma deformação do pavimento (referido no subcapítulo anterior) ou a passagem de um rodado com peso anormalmente grande. Estas fendas progridem desde a base da camada betuminosa, em que se inicia, até ao topo do pavimento, tornando-se visível apenas nesse ponto.

Até as fendas atingirem a superfície do pavimento rodoviário, este tem maior resistência à infiltração de água, o que protege as camadas granulares e a fundação de se degradarem. Já as fendas que têm início na superfície do pavimento rodoviário, com origem associada às variações térmicas, deformações e tensões tangenciais, são um ponto de entrada imediato da água nas camadas betuminosas. Não obstante da progressão natural da fenda até à base das camadas betuminosas, dando acesso direto para que a água chegue às camadas granulares e fundação, uma das principais desvantagens para o agravamento da degradação, do pavimento nessas circunstâncias, é a possibilidade de a água infiltrada nas camadas betuminosas congelar (regiões com predominância de temperaturas baixas) e com isso aumentar a largura e profundidade da fenda ou até o surgimento de novas fendas.

A fenda provocada por variações com grande amplitude térmica pode ocorrer através de um único ciclo de diminuição brusca de temperatura ou pelo acumular de vários ciclos, designado por fadiga térmica.

Em climas muito frios pode ocorrer a abertura de fendas com início na superfície da camada de desgaste, devido à retração térmica exceder as tensões de tração máximas admitidas pelo material, resultando em função da temperatura e das características de retração térmica do material, fendas ou pequenas fendas (micro-fendas) com orientação irregular. As micro-fendas durante os meses de verão podem não ser detetáveis devido ao aquecimento e dilatação da mistura.

Tal como já foi referido anteriormente, importa salientar que assim como as deformações podem levar ao aparecimento das fendas, também a fendilhação pode levar ao aparecimento de deformações, quer devido a possibilitar a passagem de água para as camadas inferiores ou devido às alterações no comportamento mecânico impostas pela fenda na zona que a circunda.

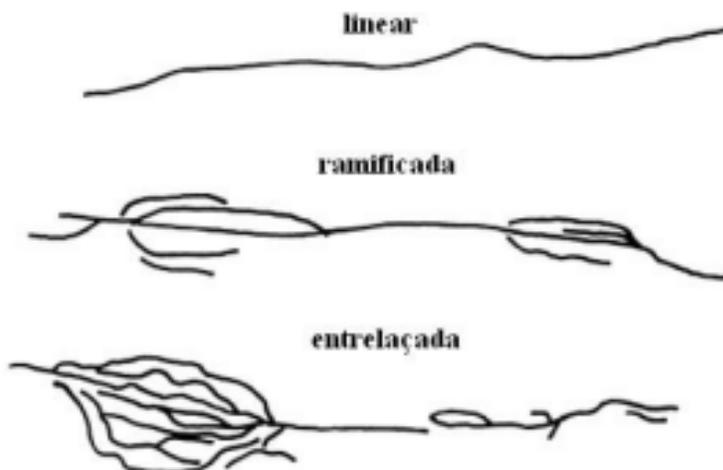
As alterações no comportamento mecânico induzidas pela existência de uma fenda passam por, sob a ação do tráfego rodoviário, aumentar a deformação das camadas do pavimento, aumentando assim as tensões quer nas camadas granulares quer nas próprias camadas betuminosas fendilhadas, levando ao aparecimento de mais fendas e/ou deformações.

### ► Fendas Isoladas e Múltiplas

A fenda isolada tem por norma uma orientação longitudinal ou transversal ao pavimento. Podendo sob a influência das alterações no comportamento mecânico induzidas pelo aparecimento da primeira fenda, progredir para diferentes direções, incluindo orientações diagonais e parabólicas, sendo raro o surgimento imediato com essas orientações.

As fendas podem ser avaliadas em três níveis de severidade de acordo com o seu aspeto e abertura da fenda, essa classificação é um instrumento de avaliação da qualidade do pavimento que pode ser incorporada em sistemas de gestão da conservação de pavimentos rodoviários flexíveis e varia em função dos parâmetros estabelecidos pelo organismo gestor.

As fendas apresentam diferente aspeto de acordo com o seu grau de severidade, estas podem ser lineares, ramificadas ou entrelaçadas, ver figura 9. As fendas com aspeto entrelaçado são um estado último da fenda que dá origem à desagregação.



*Figura 9: Diferente aspeto das fendas (traduzido de Colombier, 1997).*

As fendas transversais podem abranger parte ou a totalidade da faixa de rodagem e devem-se à retração térmica, da capacidade de suporte diferencial do solo de fundação e da má execução de juntas transversais de construção.

As fendas longitudinais podem formar-se na zona de passagem dos rodados, junto ao eixo da via, junto ao eixo da estrada e junto à berma.

Quando estas se formam na zona de passagem dos rodados, geralmente, associam-se à fadiga do pavimento, podendo ter como causas a deficiente ligação entre a camada de desgaste e a camada betuminosa precedente, sollicitação tangencial intensa, ações climatéricas desfavoráveis, reduzida espessura da camada de desgaste e envelhecimento do betume. Nesta situação as fendas tendem a progredir com ramificação em forma parabólica orientada no sentido do tráfego rodoviário, tem início na base das camadas betuminosas ou na base da camada superficial de desgaste,

progredindo até à superfície do pavimento sob a repetida solicitação do tráfego.

Relativamente ao aparecimento de fendas longitudinais junto ao eixo, tem como causas a retração térmica, a má execução da junta longitudinal, fadiga devido à solicitação excessiva da camada de base e subdimensionamento das camadas.

Junto à berma, a ocorrência de fendas pode ser causada por retração térmica, assentamentos diferenciais e drenagem deficiente que condiciona as condições de suporte das camadas granulares e solo de fundação.

A fenda múltipla resulta do agravamento das fendas isoladas, constituindo uma fase de transição entre as fendas isoladas e a “pele de crocodilo”. É originada pela progressão e interligação das fendas isoladas longitudinais e transversais ou pela ramificação de cada uma destas.

A fenda múltipla constitui uma malha de fendas bastante espaçada aberta ou fechada, ou seja, pode formar ou não quadriláteros, ver figura 8.

- **Pele de Crocodilo**

A pele de crocodilo corresponde ao último e mais severo estado de evolução das fendas, é o resultado da evolução das fendas múltiplas e caracteriza-se por formar uma malha ou grelha de fendas mais ou menos apertada e de fenda mais ou menos aberta, podendo ser classificada quanto à sua severidade de acordo com essas características em função dos parâmetros definidos pelo sistema de gestão da conservação.

Geralmente é considerada “pele de crocodilo” de malha fina quando o espaçamento da malha é inferior a 40cm e de malha larga quando o espaçamento entre malha é igual ou superior a 40cm, no entanto algumas entidades gestoras optam por reduzir este espaçamento da malha até aos 20cm.

Quando maior for o grau de severidade da fendilhação das camadas betuminosas mais agressiva será a solicitação do tráfego rodoviário, devido à concentração de tensões nos bordos das fendas e à infiltração de água no pavimento. A presença de água afeta a capacidade de suporte das camadas granulares e da fundação que por sua vez permitirão a indução de maiores esforços de tração por flexão das camadas betuminosas e a aceleração da degradação da mesma.

A malha de fendilhação do tipo “pele de crocodilo” evolui de larga para fina e as suas fendas de fechadas para abertas, culminando na desagregação das camadas betuminosas. A “pele de crocodilo” tem tendência a formar-se na zona de passagem dos rodados, podendo chegar a abranger toda a faixa de rodagem com menor severidade que a verificada na primeira.

As causas deste tipo de fendilhação estão relacionados com as fendas ramificadas parabólicas, tendo como possíveis causas a rotura por fadiga da camada de desgaste ou restantes camadas betuminosas, subdimensionamento das camadas, envelhecimento do material, deficiente compactação da mistura e perda de capacidade de suporte das camadas inferiores.

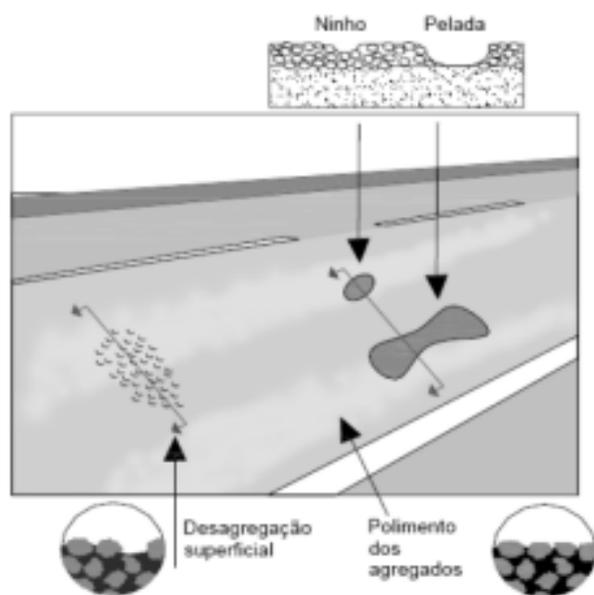
O último grau de severidade da “pele de crocodilo” abrangendo toda a faixa de rodagem

é representativo de um pavimento rodoviário flexível em rotura estrutural total, a sua reabilitação deixa de ser viável através do reforço e deve ser considerada a remoção das camadas e reconstrução do pavimento com inclusão das camadas granulares ou, em alternativa, a reciclagem de todas as camadas do pavimento.

### 2.3.3. Desagregação

A desagregação é uma família de patologias incidente na camada betuminosa de desgaste, que consiste no descolamento e destacamento de partes ou totalidade do material constituinte da camada de desgaste, ver figura 10.

Trata-se do último e mais severo estado de degradação de um pavimento rodoviário flexível, demonstrativo da ruína da camada de desgaste na zona afetada.



*Figura 10: Diferentes tipos de desagregação (Estradas de Portugal, 2008).*

- **Polimento**

O polimento é provocado pelo contacto pneus-pavimento, resultando no desgaste por abrasão, geralmente nos agregados mais grossos da superfície da mistura, conferindo-lhe um aspeto polido e brilhante.

Trata-se de um desgaste natural dos agregados que pode ser acelerado pela má qualidade dos materiais utilizados e pela intensidade de tráfego rodoviário. A utilização de betume em excesso, em fase de construção, também pode originar uma superfície demasiado lisa.

Esta patologia põe essencialmente em causa a segurança dos utilizadores da via ao reduzir o atrito no contacto pneus-pavimento e condicionar a aderência dos veículos ao pavimento, o que pode levar à ocorrência de despistes e choques entre veículos, fundamentalmente na presença de água.

- **Desagregação Superficial**

A desagregação superficial dá-se em duas fases, uma primeira fase de desagregação do material de mistura fina e numa segunda fase de desagregação do agregado de granulometria mais grossa.

A primeira fase é vulgarmente designada por “cabeça de gato”, o que consiste no destacamento do material de granulometria fina, compostos pela mistura de finos, filler e ligante betuminoso, deixando exposto e saliente o agregado de granulometria mais grossa, dando origem a um pavimento com macrotextura elevada.

A segunda fase consiste no destacamento do agregado de granulometria mais grossa, que tinha ficado exposto pela formação das “cabeças de gato”.

Este tipo de patologia pode ter origem na agressividade do tráfego rodoviário, na má qualidade dos materiais e na má qualidade de execução. Nomeadamente, tendo origem na segregação dos inertes em central, no transporte ou na sua colocação, deficiente qualidade do betume, devido à presença de água por insuficiente secagem dos inertes e deficiente compactação do betume devido, ou não, à aplicação sob condições de temperatura muito reduzida.

A desagregação superficial tem particular incidência em locais de grande concentração de tensões tangenciais, como zonas de travagem e de curvas de reduzido raio, em que a superfície do pavimento é sujeita a elevadas ações de corte e esmagamento por parte dos pneus.

Resultando na formação das ditas “cabeças de gato” e culminando na desagregação superficial, que por sua vez pode evoluir para a formação de ninhos ou covas.

Estas patologias afetam a circulação automóvel devido à produção de ruído, maior desgaste dos pneus e perda de aderência sob a presença de agregado solto. No entanto traz benefícios relativamente à drenagem superficial do pavimento.

- **Ninhos ou Covas**

Os ninhos ou covas são cavidades arredondadas formadas na camada de desgaste, são uma evolução do fendilhação em geral ou da evolução da desagregação superficial.

São frequentemente associados à evolução das fendas entrelaçada e “pele de crocodilo”, onde nos pontos de cruzamento das fendas se inicia a desagregação da camada de desgaste, formando os ninhos.

Podem ainda resultar da localizada falta de capacidade de suporte do pavimento, originada por consolidação ou deficientes condições de drenagem, ou de defeitos de construção, por má qualidade dos materiais, da execução ou da compactação da mistura.

A ação da passagem dos pneus sobre os ninhos ou covas acelera a sua evolução de degradação, levando à sua progressão em profundidade e extensão. Esta degradação é ainda agravada por ação da água.

À semelhança da desagregação superficial esta patologia afeta a circulação automóvel

devido à produção de ruído, maior desgaste dos pneus e perda de aderência sob a presença de agregado solto.

- **Pelada**

A pelada caracteriza-se pelo destacamento de pequenas placas da camada de desgaste, relativamente à camada inferior.

A formação da pelada está associada à agressividade do tráfego em pavimentos rodoviários flexíveis condicionados pelo subdimensionamento da camada de desgaste, deficiente ligação da camada de desgaste à camada betuminosa precedente e reduzida compactação da camada.

A contínua ação dos pneus sob os limites da pelada provoca a sua progressão em extensão. Esta patologia é também propícia à acumulação de água que por sua vez permite o agravamento da patologia e da degradação das camadas inferiores.

A pelada apresenta um risco para a segurança dos utilizadores, dado que devido aos ressaltos, pode provocar danos nos veículos a nível de pneus e amortecedores, e em última instância culminar em despiste.

#### 2.3.4. Movimento de Materiais

O movimento de materiais trata-se de uma família de patologias, caracterizada pela movimentação, até à superfície do pavimento, de materiais constituintes das camadas betuminosas, granulares ou fundação.

- **Exsudação**

A exsudação consiste na subida do excesso de ligante da camada betuminosa de desgaste, até à superfície da mesma.

Pode ocorrer na zona de passagem dos rodados ou em zonas localizadas de maior concentração de ligantes resultantes da má execução em fase de construção, nomeadamente nas juntas de trabalho longitudinais e transversais.

À exclusão da má execução, outras origens desta patologia são a deficiente composição da camada de desgaste, tendo como responsáveis alguma(s) das seguintes características: excesso de ligante, ligante de reduzida viscosidade e excesso de fração fina dos agregados.

A exsudação ocorre especialmente em condições de temperatura elevada e sob ações severas de tráfego rodoviário, sobretudo com tráfego pesado e lento. Nestas condições, a pressão exercida pelos rodados na camada de desgaste, resulta na compressão da camada e expulsão do ligante para a superfície livre. Sendo tanto mais grave, quanto menos viscoso for o ligante, tendo em consideração que a viscosidade decresce com o aumento da temperatura.

- **Subida de Finos**

Como o próprio nome indica, trata-se da subida, à superfície do pavimento, dos finos presentes nas camadas granulares ou na fundação.

A subida dá-se e manifesta-se em fendas já existentes que atravessam toda a espessura betuminosa do pavimento, uma vez que é através dessas fendas que os finos têm a oportunidade de emergir.

A subida de finos resulta da conjugação de um pavimento fendilhado com a presença de água. Água essa que pode ser resultante da ação climatérica e das condições de drenagem, devido a infiltrações pelas próprias fendas ou da acumulação a nível inferior e subida do nível freático.

Sob a ação da passagem dos rodados, a compressão exercida no pavimento provoca a expulsão da água presente no interior do pavimento ou do solo de fundação, para a superfície livre, transportando juntamente as partículas finas das camadas por ela atravessadas.

### 2.3.5. Manchas de Humidade

Trata-se de uma patologia que se manifesta com o aparecimento de manchas húmidas na superfície do pavimento, podendo estar relacionadas com a presença de água no interior do pavimento ou com a falta de exposição solar em períodos de clima frio e húmido.

A presença de água no interior do pavimento pode advir da excessiva porosidade da mistura betuminosa, resultando de uma deficiente compactação em fase de construção e permitindo a infiltração e acumulação de água no seu interior, ou ainda da circulação de água nas camadas granulares ou solo de fundação devido à insuficiente capacidade dos elementos de drenagem, possibilitando que a água suba até à superfície do pavimento através das fendas existentes.

À partida este tipo de patologia pode parecer pouco prejudicial, no entanto a presença de manchas de humidade pode reduzir a aderência no contacto entre pneus-pavimento, sendo, no entanto, particularmente prejudiciais quando conjugadas com temperaturas muito reduzidas, por serem locais propícios à formação de gelo.

### 2.3.6. Reparações Localizadas

As reparações localizadas, vulgarmente designadas por “remendos (ou tapamento de buracos)”, são reparações executadas em determinada zona do pavimento após este ter sofrido uma degradação prematura relativamente ao restante, o que indicia uma anomalia que se não for corretamente retificada pode voltar a manifestar-se.

Os “remendos” não são necessariamente considerados como patologia, isto porque quando são bem executados e a origem da patologia é corretamente tratada o remendo é uma resolução da patologia a que está associado.

O problema prende-se pela má execução, que pode advir da não resolução da causa da patologia, do deficiente tratamento e limpeza do local a reparar, da deficiente compactação e da incorreta utilização de matérias no remendo. Nestas circunstâncias a patologia pode reaparecer, o remendo pode fendilhar, deformar, descolar e desintegrar-se ou ainda apresentar uma elevação relativamente ao restante perfil do pavimento.

Geralmente são alvo de remendos as patologias prematuras sob a forma de

abatimento, deformação localizada, covas e peladas.

### 3. Reabilitação de Pavimentos

A degradação dos pavimentos rodoviários tem interferência imediata na qualidade dos mesmos, podendo afetá-los a dois níveis:

- Estrutural, reduzindo a capacidade de o pavimento suportar as cargas dos veículos sob determinadas condições climáticas;
- Funcional, redução da qualidade de circulação prestada aos utilizadores do pavimento.

Para que a qualidade inicial seja reposta ou melhorada é necessário efetuar operações ou de conservação ou de reabilitação. As operações de conservação têm por objetivo repor a qualidade inicial (funcional e/ou estrutural) de um pavimento rodoviário ao nível da segurança, conforto e redução dos custos de circulação. As operações de reabilitação visam melhorar as características do pavimento de modo a prepará-lo para um novo período de vida útil.

É possível efetuar dois tipos de intervenção: estrutural e funcional, sendo que ambas acabam por dotar o pavimento de novas características superficiais.

A situação mais corrente consiste na adoção de intervenções a nível estrutural, reabilitação estrutural, de modo a aumentar a capacidade resistente do pavimento e adaptá-lo a novas exigências de tráfego relativamente às consideradas no período de vida útil anterior. Este tipo de reabilitação, além de dotar o pavimento de novas características estruturais, permite ainda adquirir novas e melhoradas características funcionais, uma vez que a camada superficial é inevitavelmente renovada através da execução de novas camadas.

Outro tipo de intervenção pode ser apenas superficial, reabilitação funcional, com o intuito de melhorar as características da superfície do pavimento existente em termos de textura e regularidade. Este tipo de intervenção acaba por beneficiar também as características estruturais, melhorando o modo de atuação das cargas e impermeabilizando o pavimento, resultando num melhor comportamento das camadas e solo de fundação.

O intervalo de ocorrência das intervenções deve ser determinado por um Plano de Conservação, onde são descritas as estratégias de conservação a adotar para um determinado pavimento incluindo operações de conservação periódica e conservação corrente.

Na conservação periódica devem estar previstas estratégias de intervenção com uma determinada periodicidade, passando por estratégias de conservação preventiva ou realização de reforços periódicos.

A conservação preventiva implica a execução de camadas betuminosas de reduzida espessura, com o intuito de atenuar a evolução das degradações que ainda se encontram em fase inicial, de modo a manter a qualidade do pavimento ao longo do

seu período de vida útil. Este tipo de intervenção pode passar pela realização de uma camada de desgaste de reduzida espessura que permita recuperar ou reabilitar as características de textura ou pela realização de uma camada mais espessa que permita recuperar a regularidade transversal e longitudinal (conservação ou reabilitação funcional), qualquer uma destas intervenções tem também a propriedade de impermeabilizar o pavimento, impedindo que as infiltrações de água ajudem à evolução da degradação.

A conservação preventiva tem por benefício os pequenos custos para a administração e utentes, dado que são intervenções de curta duração, interferindo menos com o tempo de percurso para os utentes durante a realização dos trabalhos. No entanto, não são aconselháveis para estradas com elevado tráfego, porque o reduzido intervalo entre as intervenções traduz-se num custo de tempo acumulado para os utentes e afeta a satisfação dos utentes. Nestes casos, a alternativa passa pela realização dos reforços periódicos, que se prendem pela execução de camada betuminosas relativamente espessuras e programadas para serem efetuadas em intervalos regulares de tempo (5 em 5 anos ou 10 em 10 anos).

Os reforços periódicos constituem a estratégia mais usual em Portugal, sendo que em grande parte das vezes não são cumpridos os intervalos periódicos, quer por falta de financiamento ou por falta de planeamento preventivo (Plano de Conservação). Assim, estas intervenções são realizadas numa fase de avançada degradação do pavimento rodoviário em que a qualidade estrutural se encontra seriamente afetada (reduzida à “vida residual”).

A conservação corrente implica a realização de operações de manutenção e correção de pequenas situações, tal como:

- Manutenção das bermas, de forma a manter a regularidade e impermeabilidade;
- Manutenção dos sistemas de drenagem;
- Manutenção da sinalização (sinalização vertical e marcar rodoviárias);
- Selagem de fendas ou realização de camadas de impermeabilização;
- Reparação de covas e realização de saneamentos de zonas particulares do pavimento.

Quando não existe a adoção de um Plano de Conservação que vise a conservação preventiva, recorre-se à conservação corrente na sua forma “curativa” de patologias pontuais. Esta consiste em operações de reparação ou reconstrução do pavimento em zonas pontuais que apresentam uma determinada patologia prematura passível de ser individualmente reparadas ou tratadas, tais como: covas, peladas, deformações localizadas, abatimentos e fendas isoladas. Estas reparações devem ser realizadas com rigor e qualidade, de forma a corrigir a origem da patologia e a evitar o reaparecimento da patologia prematura (como já foi referido no subcapítulo 2.3 do presente documento).

### 3.1. Reabilitação Funcional

As técnicas de reabilitação funcionais atuam ao nível das características superficiais do pavimento, de modo a devolver ou melhorar as características iniciais.

As intervenções efetuadas a este nível servem para reabilitar as características que confirmam maior segurança, conforto, impermeabilidade, escoamento das águas sobre o pavimento ou que reduzam o ruído de circulação.

A reabilitação funcional não deve ser aplicada sobre pavimentos que apresentem problemas estruturais, como deformações, sendo apenas indicada para a reabilitação de pavimentos levemente fendilhados ou com desagregação.

No geral, as técnicas utilizadas na reabilitação funcional passam pela aplicação de finas camadas betuminosas com características que permitam funcionar como camada de desgaste e resolver problemas especificamente superficiais.

Algumas das misturas betuminosas utilizadas na construção de pavimentos novos ou reabilitações estruturais (camadas de regularização e camadas de base) podem também ser aplicadas neste campo da reabilitação, fundamentalmente as técnicas utilizadas em situações de reperfilamento.

No seguimento deste tema serão analisadas diversas técnicas, de entre as quais:

- Revestimentos Betuminosos Superficiais;
- Microaglomerado Betuminoso a frio;
- Lama Asfáltica;
- Microbetão Betuminoso Rugoso;
- Argamassa Betuminosa;
- Betão Betuminoso;
- Reparações Localizadas

Existem ainda duas técnicas do domínio da reciclagem, Termo-regeneração e termo-reperfilamento, que permitem recuperar ou melhorar as características superficiais do pavimento com pouca ou nenhuma necessidade de utilização de novos materiais.

A técnica de Termo regeneração é algo mais complexa e envolve o aquecimento do pavimento, seguida da sua escarificação, adição de uma pequena percentagem de mistura nova, junção das duas misturas com adição de ligante e/ou rejuvenescedor (mistura nova e mistura escarificada), seguida da sua reposição, nivelamento e compactação.

A técnica de termo-reperfilamento consiste apenas no aquecimento da camada de desgaste, seguido da sua compactação, eliminando as fendas existente e repondo a regularidade longitudinal e transversal do pavimento.

Estas técnicas têm um elevado custo económico e ambiental, além de que não são

viáveis para a dimensão da rede de estradas portuguesa, de qualquer forma serão abordadas de forma mais detalhada no subcapítulo referente à reciclagem.

Uma técnica que não implica qualquer adição de camadas ou ligantes é a “ranhuragem”. Esta técnica consiste na abertura, por serragem, de sulcos no pavimento que permitem o aumento da drenabilidade do pavimento, ou seja, facilitam a velocidade de escoamento da água de precipitação de modo a evitar a sua acumulação sobre o pavimento, que pode originar aquaplanagem.

Trata-se de uma técnica de uso pontual que em diversas ocasiões é aplicada em pavimentos novos, permitindo contornar o problema originado por defeitos de projeto/execução ou deformações ocorridas, sendo propício de ocorrer em zonas de pequena inclinação longitudinal e pequena ou nula inclinação transversal, como acontece em zonas de osculação de curvas em planta com sinal contrário (Branco et al., 2008).

Os sulcos da “ranhuragem” têm cerca de 2cm de largura com uma profundidade variável desde poucos milímetros, no bordo mais alto, até cerca de 3 a 4 cm, no bordo mais baixo. Devem fazer um ângulo de 60° com o eixo da estrada, ter um espaçamento igual ou inferior a 3m e estenderem-se por 30 metros para cada lado do ponto de inclinação nula.

### 3.1.1. Revestimentos Betuminosos Superficiais

O revestimento betuminoso superficial consiste no espalhamento alternado de uma ou duas camadas de ligante betuminoso e agregado de baixa granulometria sobre o pavimento existente.

Esta técnica tem uma excelente relação custo-benefício no que diz respeito à reabilitação das características de impermeabilização e de rugosidade do pavimento, permitindo maior aderência entre os pneus-pavimento e pode também reduzir a acumulação de água que entra em contacto com os pneus.

Apesar de se tratar de uma técnica de reabilitação superficial, a sua capacidade de impermeabilização das camadas inferiores permite-lhe contribuir para a preservação estrutural do pavimento ao impedir o aceleração da degradação provocada pelas infiltrações de água. Esta técnica é também ser utilizada como revestimento de pavimentos novos, se bem que com menor frequência.

Os revestimentos betuminosos superficiais apenas devem ser aplicados sobre pavimentos com boa capacidade de suporte, com poucas fendas e deformações. São principalmente indicados para tráfego baixo a médio, sendo apenas aconselhada a aplicação para tráfego elevado quando utilizados ligantes modificados.

Existe um possível conjunto de combinações de aplicação deste tipo de revestimento, como se apresenta na figura 11 e a seguir descritos (Pereira & Miranda, 1999).

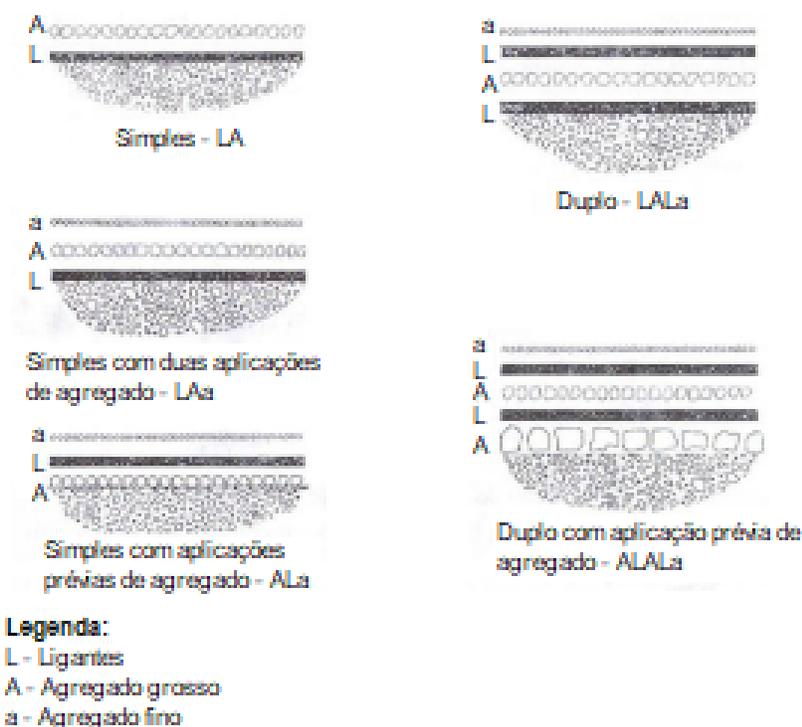
**Revestimento simples com aplicação prévia de agregado ou “Sandwich” (ALa):** é bem adaptado a suportes heterogéneos e com exsudação, no entanto proporciona uma impermeabilização baixa, pelo que tem sido preterido a favor do revestimento duplo.

**Revestimento simples (LA):** adapta-se a suportes homogêneos com tráfego reduzido (TMDA<300), embora não resista a esforços tangenciais.

**Revestimento simples com dupla aplicação de agregado (LAa):** adapta-se bem a situações de tráfego elevado e rápido, visto assegurar boa aderência e drenagem superficial elevada.

**Revestimento duplo com aplicação prévia de agregado (ALALa):** aplica-se o mesmo que dito em relação ao revestimento simples com aplicação prévia de agregado, só que para suportes ainda mais heterogêneos.

**Revestimento duplo (LALa):** adapta-se a pavimentos heterogêneos com subdosagem de ligante e permeáveis, aos quais confere uma boa impermeabilização.



*Figura 11: Tipos de revestimento betuminoso superficial (Perera & Miranda, 1999).*

Como as camadas obtidas por esta técnica são de pequena espessa, é necessário tomar especial precaução para evitar desagregações. Deve-se escolher criteriosamente os agregados e o ligante, visando uma boa adesividade entre os dois.

De forma a melhorar a adesividade pode-se incorporar aditivos no ligante, limpar ou secar os agregados a quente, aplicar aditivos entre os agregados e o ligante e pré-envolver os agregados com emulsão betuminosa.

A adesividade entre o ligante e o suporte é um dos aspetos fundamentais para não haver a rejeição da camada, devendo por isso efetuar-se uma limpeza adequada do suporte (pavimento existente) e corrigir defeitos localizados, antes da aplicação do ligante.

O ligante deve ser doseado em função das condições de aplicação, do tipo de revestimento e agregado. Geralmente é utilizado o betume puro, tipo 180/200 aquecido a 160°C e as emulsões betuminosas tradicionais ou modificadas.

O betume a quente é inapropriado para aplicações sob baixas temperaturas ou elevada humidade, no entanto é preferível para revestimentos simples e quando existe a necessidade de abertura rápida ao tráfego.

As emulsões modificadas também possuem uma elevada coesão e maior resistência ao arranque, sendo adequadas a situações de tráfego severo e abertura rápida ao tráfego, quando utilizadas emulsões de rutura rápida.

A escolha dos agregados deve considerar os seguintes fatores (Pereira & Miranda, 1999):

- tipo de estrutura do pavimento existente;
- tráfego;
- características do suporte;
- rugosidade a obter;
- diminuição do ruído;
- melhoria da aderência;
- obtenção de drenagem superficial, além de impermeabilização das camadas inferiores.

Os revestimentos duplos têm granulometria descontínua, para proporcionar melhor encaixe entre os agregados e redução dos vazios, melhorando a rugosidade e reduzindo o ruído. A presença de agregados de maior granulometria permite a utilização sob suportes irregulares e sob solicitação de tráfego elevado, proporcionam maior aderência e drenabilidade.

Apesar das características de diminuição do ruído, as técnicas de revestimento betuminoso superficial quando comparadas com outras técnicas de reabilitação superficial, são das mais ruidosas, as que provocam maior desgaste dos pneus e maior consumo de combustível.

Estas técnicas, quando bem executadas, sobre pavimentos de suporte em boas condições e com uma boa gestão da conservação, proporcionam um período de via de até 7 anos.

O seu processo de execução é ilustrado pela figura 12, onde se apresenta a inicial limpeza do pavimento, com possível correção de defeitos pontuais (reparação de deformações localizadas, covas e peladas).

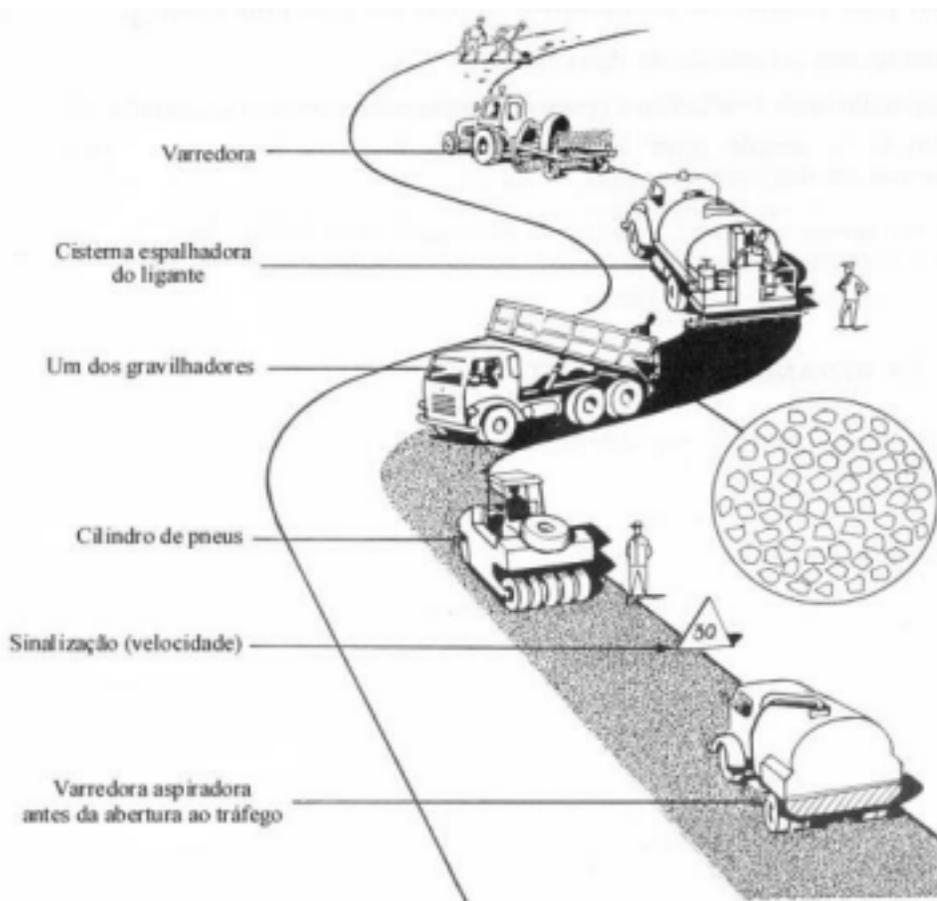
Segue-se a aplicação do ligante ou da primeira camada de agregado, de acordo com a técnica escolhida. A distribuição do ligante é feita pela cisterna equipada de barras de espalhamento, que permitam uma distribuição homogénea e bem doseada. A aplicação

do agregado é feita por uma gravilhadora que também ela permita uma distribuição homogênea.

Após a aplicação das camadas de ligante e agregado definidas pela técnica utilizada, é efetuada a compactação com cilindros de pneus que asseguram o correto encaixe entre os agregados e tornem a superfície regular.

Para finalizar os trabalhos é necessário efetuar uma operação de limpeza do revestimento colocado para remoção de agregados soltos e permitir a passagem do tráfego rodoviário.

Todas estas operações devem contar com equipamento adequado e com largura de aplicação compatível entre si, de modo a maximizar o rendimento das operações. O processo de aplicação segue um funcionamento em "comboio" que permite o avanço da intervenção acompanhado da imediata abertura ao tráfego, provocando o menor constrangimento possível aos utilizadores e sem necessidade de efetuar o corte prolongado da via.



*Figura 12: Processo de aplicação dos revestimentos betuminosos superficiais (Pereira & Miranda, 1999)*

### 3.1.2. Microaglomerado Betuminoso a Frio

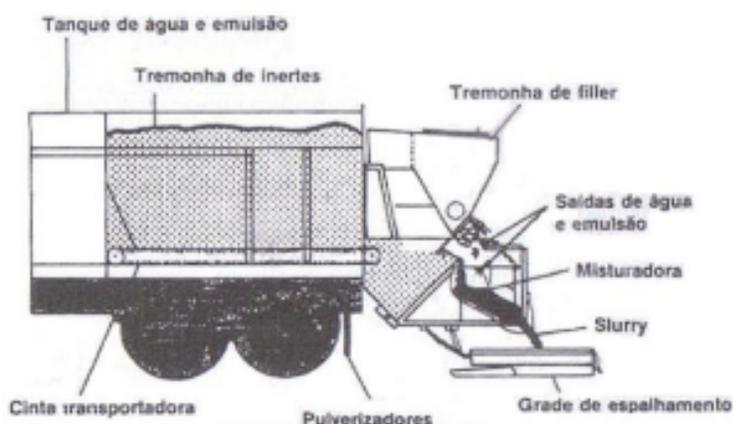
O microaglomerado betuminosa a frio é uma mistura betuminosa a frio com emulsão

betuminosa, é executada “in situ” por um equipamento apropriado que permite fabricar e espalhar a mistura sobre o pavimento. O espalhamento é feito com a mistura em estado líquido, antes que se dê a rotura da emulsão.

Antes da aplicação é fundamental molhar o suporte, porém, o equipamento mais recente já prevê este aspeto e ele próprio faz a molhagem.

O equipamento referido, é apresentado na figura 13, permite executar as tarefas de:

- armazenamento dos materiais (agregado, emulsão, água e aditivos);
- dosagem e mistura dos constituintes;
- pulverização com água sobre o suporte;
- espalhamento da mistura sobre o suporte.



*Figura 13: Esquema de equipamento para fabrico e colocação em obra de microaglomerado betuminoso a frio ou lama asfáltica (Branco et al., 2008).*

A camada de microaglomerado betuminoso a frio ao fim de algum tempo, para que se dê a rotura da emulsão (aproximadamente 1 hora), fica pronta para receber o tráfego sem necessidade de compactação, constituindo uma camada de cerca de 1cm de espessura, com excelentes características de impermeabilização, boa rugosidade e aderência aos pneus.

Esta técnica utiliza agregados de britados de reduzida granulometria, geralmente 0/6 e emulsão betuminosa modificada com um teor de betume mínimo de 60% para aplicação simples e granulometria de 0/4 na primeira camada e 4/8 numa segunda camada para aplicação dupla (Branco et al., 2008).

A utilização em camada dupla confere-lhe melhores características de impermeabilização, suporte e rugosidade, o que conduz a uma melhor proteção contra a degradação das camadas inferiores, maior aderência dos pneus e redução na projeção de água.

A utilização de emulsões modificadas, incorporando fibra ou polímeros, traduz-se numa redução da suscetibilidade térmica da mistura, melhoria da adesividade dos agregados

e ao suporte, maior resistência ao desgaste e aumento da resistência à deformabilidade e fadiga.

Tratando-se de uma técnica a frio, constitui uma opção que exige poucos recursos energéticos e apresenta um custo reduzido. É principalmente indicada para aplicação em zona urbana, uma vez que o aumento de espessura é muito reduzido e origina pouco ruído de circulação.

Esta técnica pode ainda ser utilizada para a selagem de fendas e para a reparação de desagregações superficiais.

### 3.1.3. Lama Asfáltica

A lama asfáltica ou “slurry seal” é uma técnica em muito semelhante ao micro aglomerado betuminoso a frio, apenas diferindo na menor dimensão dos agregados utilizados.

A granulometria dos agregados pertencendo ao fuso 0/4 com uma grande percentagem de agregados com dimensão inferior aos 2mm de diâmetro.

O fabrico e espalhamento da lama asfáltica é feito pelo mesmo equipamento que o micro-aglomerado betuminoso a frio, representado na figura 11, e também não necessita de compactação.

Esta técnica é essencialmente aplicada para a selagem de fendas com o intuito de impermeabilizar o pavimento.

Tem como vantagem a facilidade de espalhamento que lhe permite obter um grande rendimento, no entanto constitui camadas de reduzida rugosidade que diminuem a aderência dos pneus ao pavimento, sobretudo em piso molhado.

### 3.1.4. Microbetão Betuminoso Rugoso

O microbetão betuminoso rugoso é uma técnica a quente utilizada para a realização de uma camada de desgaste com espessura compreendida entre os 2,5 a 3,5cm.

Esta técnica é aplicada sobre pavimentos com reduzida deformabilidade e boa capacidade de suporte, quando se desejam melhorar as características de regularidade e rugosidade para um período de durabilidade superior.

Antes da aplicação da mistura betuminosa é necessário efetuar uma prévia limpeza do suporte e a aplicar uma rega de colagem com uma emulsão betuminosa a 60°C que permita conferir a impermeabilização das camadas inferiores, uma vez que a capacidade de impermeabilização do microbetão betuminoso rugoso é reduzida.

A aplicação e compactação da mistura apenas é feita após a rotura da emulsão betuminosa da rega de colagem, período durante o qual o pavimento deve estar fechado ao tráfego.

A mistura deve ser produzida em central a uma temperatura em cerca de 20°C superior à das misturas convencionais, devido à elevada viscosidade do betume modificado, no entanto a temperatura não pode exceder os 190°C sob pena de “queimar” o betume modificado.

O seu espalhamento e compactação deve ser feito com a mistura a uma temperatura de próxima dos 140°C a 160°C, com temperatura ambiente superior a 10°C, sem ocorrência de precipitação e sem velocidades o vento superior a 30km/h.

Deve-se ter em conta a proximidade da central à obra e a utilização de camiões com cobertura, para que o trajeto seja feito o mais rapidamente possível, evitando a segregação do material, o escorrimento do betume modificado e o arrefecimento da mistura. Isto porque, o facto de a mistura ser descontínua faz com que arrefeça mais rapidamente que as misturas convencionais.

O microbetão betuminoso rugoso não permite a utilização de cilindros de pneus, devendo apenas ser utilizados cilindros de rolo liso estático e molhado, de modo a evitar a adesividade do ligante betuminoso aos rolos.

Trata-se de uma técnica mais dispendiosa que as anteriores, porém apresenta maior durabilidade, ótimas características de regularidade e aderência. Peca pela falta de capacidade de impermeabilização que, no entanto, é compensada com a sobredosagem da rega de colagem.

Esta técnica é uma das mais utilizadas nalguns países europeus para a conservação de pavimentos sujeitos a tráfego elevado e rápido, justificada pelo baixo custo relativamente às melhorias oferecidas ao nível do conforto e segurança.

#### 3.1.5. Argamassa Betuminosa

A argamassa betuminosa é uma mistura betuminosa a quente usada na reabilitação como camada de reperfilamento ou camada de desgaste de pavimentos com tráfego leve. Pode ser aplicada como betume modificado para atuar como camada retardadora da propagação das fendas (SAMI).

A mistura é composta por betume puro ou modificado e agregado da granulometria 0/4 ou 0/6. É uma mistura que apresenta elevada deformabilidade, por isso não deve ser sujeita a tráfego muito severo. Esta técnica é geralmente utilizada como solução a curto prazo em pavimentos fendilhados, com a necessidade de retardar uma intervenção estrutural, uma vez que a elevada deformabilidade que apresenta permite-lhe adaptar-se a essas condições.

#### 3.1.6. Betão Betuminoso

O betão betuminoso é umas das misturas betuminosas a quente mais utilizadas em camada de desgaste com espessura máxima de até 5cm.

Antes de receber a mistura o pavimento de suporte deve ser previamente regado com uma rega de colagem em emulsão betuminosa e só após esta atingir a rotura é que a nova mistura pode ser aplicada.

O transporte para a obra, o espalhamento e compactação devem ser realizados o mais rapidamente possível, para evitar que a mistura arrefeça em demasia. Devendo ser executadas com tempo seco e temperatura ambiente superior a 10°C.

A compactação da mistura implica a utilização de cilindros de rolo liso e cilindros de pneus, devendo estes estar munidos de sistemas de rega e “saías de proteção”.

A aplicação do betão betuminoso como camada de desgaste apenas deve ser feita quando o pavimento existente se apresentar pouco deformado, com boa capacidade estrutural e reduzidas fendas. Sendo que quando estas condições não se verificam, deve ser ponderada a realização de uma camada de regularização antes da aplicação do betão betuminoso como camada de desgaste.

Em caso de pavimentos fortemente fendilhados, será mais prudente passar para o campo da reabilitação estrutural com aplicação de uma técnica de retardamento da propagação de fendas e só depois a aplicação do betão betuminoso.

### 3.1.7. Betão Betuminoso Drenante

Ainda no campo do betão betuminoso é usual utilizar a técnica de Betão Betuminoso Drenante, que consiste na realização de uma camada com cerca de 4cm de espessura com uma percentagem de vazios de cerca de 22% a 30%.

A sua função é permitir o rápido escoamento das águas da superfície do pavimento e encaminhá-las para as bermas, através do interior poroso da mistura. Desta forma a aderência entre os pneus e o pavimento em períodos de precipitação é maximizada e as projeções de água muito reduzidas.

O betão betuminoso drenante tem de ser aplicado sobre pavimentos impermeáveis, com boa capacidade de suporte e sem deformações, para que não se formem zonas de estagnação e/ou entrada de água para as camadas inferiores.

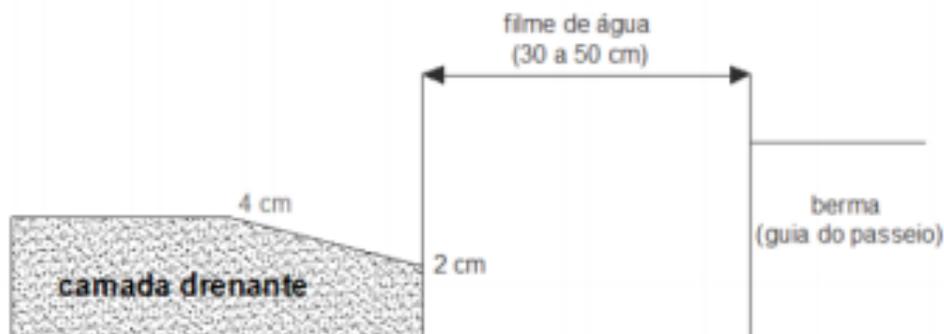
A utilização de betume modificado tem em vista o aumento da adesividade entre os agregados, uma vez que os pontos de contacto são significativamente reduzidos, comparativamente às misturas não porosas.

Por esse motivo, não se aconselha a utilização desta mistura em zonas de fácil colmatação (perda de permeabilidade), zonas de elevados esforços de corte (tendência à desagregação), zonas de declives acentuados e faixas de circulação muito largas (possibilidade de reaparecimento da água à superfície).

Os poros das camadas em betão betuminoso drenante têm propensão a colmatar com a acumulação de sujidade, sendo por vezes, necessário intervir com operações de limpeza numa tentativa de descolmatação dos poros da mistura. Essa tarefa é executada com o auxílio de um equipamento específico de tratamento hidromecânico, que atua pulverizando a superfície do pavimento com água a alta pressão seguida da sua aspiração. A necessidade de efetuar estas operações está diretamente relacionada com as condições locais dos pavimentos e a sua propensão para o fecho dos poros, no entanto é aconselhada a limpeza periódica, com intervalos de tempo ajustados a essa propensão, de modo a evitar as colmatações e a maior dificuldade em as remover quando se acumulam em demasia.

É necessário criar uma zona de transição entre a camada drenante e as camadas de desgaste densas dos pavimentos existente, não devendo terminar numa zona de pendente longitudinal significativa. A camada drenante deve terminar 30 a 50cm antes do limite do suporte para permitir um correto escoamento da água, devendo haver uma transição de 4 até 2 cm na espessura da camada antes de terminar, ver figura 14. Deve

haver cuidado na junta longitudinal entre as diversas bandas realizadas em faixas largas, de modo a permitir o escoamento da água.



*Figura 14: - Camada de desgaste drenante, transição entre faixa de rodagem e berma (Pereira & Miranda, 1999).*

A utilização de betão betuminoso drenante traz uma grande vantagem ao nível da segurança sob condições de precipitação e também em tempo seco, com a melhoria da aderência, diminuição da projeção de água e baixa emissão de ruído.

As desvantagens passam pela propensão à colmatação dos vazios, com perda da sua funcionalidade drenante, e incapacidade de impermeabilizar as camadas inferiores, podendo contornar a situação com uma sobredosagem da rega de colagem antes da execução da camada drenante.

As vantagens desta formulação passam pela redução do ruído, uma vez que a camada em contacto com os pneus tem uma granulometria mais regular e menor dimensão máxima do agregado. E a menor propensão à colmatação da porosidade entre períodos de limpeza, conferida pela maior dimensão dos vazios provocada pelos agregados de granulometria grossa.

A dupla camada em betão betuminoso drenante tem, naturalmente, um custo de construção mais elevado, no entanto permite que as operações de limpeza sejam espaçadas em período mais longos.

### 3.1.8. Betão Betuminoso de Alto Módulo

O Betão Betuminoso de Alto Módulo, também pertencente à família das misturas de betão betuminoso, com a característica de apresentar excelentes propriedades mecânicas, como módulos de deformabilidade superiores a 8000MPa à temperatura de 25°C e resistência à fadiga, superiores ao betão betuminoso convencional.

Desta forma é possível construir reforços mais duráveis com excelente resistência à deformabilidade e à fadiga, com espessuras inferiores.

Uma vez que se trata de um betume muito duro, a mistura deve ser fabricada a uma temperatura superior à das misturas convencionais, de modo a tornar o betume suficientemente mole para cobrir os agregados. Geralmente são utilizadas temperaturas de 160°C a 180°C no fabrico, 145°C a 165°C no espalhamento e até

140°C na compactação.

Esta técnica apesar de poder ser utilizada como camada de desgaste ou de reperfilamento, é considerada demasiado indeformável e muito suscetível às variações térmicas tendo propensão a fendilhar por retração térmica. Pelo que geralmente é mais utilizada no âmbito da reabilitação estrutural quando se pretendem camadas com elevada capacidade de suporte, nomeadamente para pavimentos com tráfego elevado e agressivo, sendo sobretudo utilizada como camada de base sobre fundações com deficiente capacidade de suporte, e também como camada de regularização acompanhada de uma camada de desgaste com características adequadas para resistir às ações climatéricas (Pereira & Miranda, 1999).

### 3.1.9. Macadame Betuminoso

O macadame betuminoso é uma mistura betuminosa a quente utilizada na reabilitação estrutural como camada de reperfilamento, porém a sua utilização mais corrente é na reabilitação estrutural onde é aplicada como camada de base.

A aplicação desta mistura deve ser feita para espessuras superiores a 8cm até 15cm e não pode ser sujeita às ações do tráfego de obra durante um período significativo, sob o risco de sofrer danos nas características mecânicas e conseqüente comprometimento da sua capacidade estrutural.

Trata-se de uma mistura com boa capacidade de suporte, mas com necessidade de elevadas espessuras, pelo que faz dela uma técnica preferida em termos de reabilitação funcional, mas muito utilizada em construções novas e reabilitações estruturais.

### 3.1.10. Reparações Localizadas

As reparações localizadas são uma técnica de reabilitação superficial ou estrutural, por norma, utilizada na resolução de problemas pontuais de degradação ou aparecimento de patologias prematuras, que condicionam a segurança, conforto e manutenção dos veículos.

Numa realidade muito presente nas estradas de menor importância do nosso país, as técnicas de reparação localizada são muitas vezes utilizadas para minimizar problemas de avançada degradação, quando não é financeiramente possível ou viável intervir o pavimento em toda a extensão degradada. É uma solução com mais custos quer para os utentes quer para a própria administração rodoviária.

Já anteriormente foi referido que as reparações localizadas podem constituir uma patologia quando não são bem executadas. A boa execução passa não só pela correta realização do “remendo”, mas particularmente pela correção da origem da patologia.

Esta situação coloca-se especificamente quando se trata de patologias da família das deformações, em que a origem da patologia não está na própria manifestação do problema, ao contrário do que acontece nas desagregações.

Portanto, quando ocorre o aparecimento pontual de uma deformação (nomeadamente, abatimento ou deformação localizada) é fundamental estudar a origem do problema e tratá-lo de forma a evitar a possibilidade de esta voltar a surgir após a reparação.

Relativamente às desagregações, deve-se seguir o seguinte procedimento:

- Preparação do suporte, realizando o corte vertical da camada na zona a reabilitar, de modo a retirar o material deteriorado e obter um suporte firme, ao qual a reparação possa aderir. A delimitação desta zona deve ser suficientemente afastada do bordo da zona deteriorada de modo a retirar todo o material degradado.
- Limpeza e secagem da “cova” originada pelo corte, para não haver problemas de aderência.
- Aplicação de uma rega de colagem adequada na superfície de contacto entre o suporte e a nova mistura betuminosa de reparação.
- Enchimento da “cova” com a mistura betuminosa escolhida, podendo ser um betão betuminoso a quente ou uma mistura betuminosa a frio.
- Compactação, que deve ser feita com equipamentos de compactação adequados à dimensão e à importância da reparação.
- Selagem das faces verticais da reparação, de modo a evitar a entrada de água. Os materiais de selagem podem ser vários, entre os quais uma lama asfáltica.

Os problemas geralmente associados às reparações são (Pereira & Miranda, 1999):

- a reduzida aderência entre a reparação e o suporte;
- a ocorrência de depressões ou elevações relativamente à superfície do restante pavimento, devido a problemas de compactação e resistência ao corte;
- o arranque do material de reparação, por falta de coesão da mistura usada e de compactação;
- problemas de drenagem superficial;
- reflexão de fendas;
- arranque de placas (peladas).

### 3.2. Reabilitação Estrutural

Uma das principais técnicas de reabilitação estrutural consiste na realização de um reforço, constituído por uma ou mais camadas betuminosas, precedido ou não, pela aplicação de uma técnica que limite a fendilhação do pavimento existente de se propagar ao reforço.

Antes da execução do reforço, dependendo do caso e estado de degradação do pavimento, pode ser necessária a realização de reparações localizadas ou de camadas de pré-regularização (reperfilamento). Deve ainda aproveitar-se para realizar trabalhos de melhoria da drenagem, tais como execução/reparação/manutenção de valetas, drenos longitudinais de rebaixamento de nível freático, de passagens hidráulicas, de taludes e plataformas.

Os reforços são geralmente constituídos por misturas betuminosas a quente, deferindo nas suas características em função do tipo de reforço efetuado, em termos de número, espessura e função da camada. Algumas das misturas são também utilizadas na reabilitação funcional, como é o caso do macadame betuminoso, betão betuminoso e argamassa betuminosas (tendo sido descritas no subcapítulo anterior).

Na existência de condicionantes ao aumento da cota do pavimento, pode optar-se por uma das seguintes alternativas:

- Utilização de misturas betuminosas de alto módulo de deformabilidade, que permitem diminuir as espessuras das camadas a executar;
- Proceder à fresagem de parte ou totalidade da(s) camada(s) superior(es), de modo a reconstruí-la(s) com nova mistura betuminosa;
- Reciclagem de parte ou totalidade do pavimento.

Atualmente está em voga a utilização de Betume Modificado com Borracha (BMB) na constituição das misturas betuminosas e SAMI's. A adição de materiais poliméricos, para a modificação de betumes, traz, com eficácia, uma melhoria das propriedades do betume, nomeadamente na suscetibilidade térmica e na flexibilidade. No entanto os polímeros têm um elevado custo, que apenas se torna viável quando se trata de polímero proveniente de reciclagem, nomeadamente a reciclagem de pneus usados. A borracha de pneus triturados, para além de ser um bom polímero para adição ao betume, é mais barato e permite controlar o problema ambiental da acumulação de pneus usados sem utilidade e considerados como resíduo poluente.

As misturas betuminosas com BMB em reforços de pavimentos rodoviários flexíveis apresentam maior resistência a fendilhação e às deformações, mas principalmente na resistência à reflexão de fendas, comparativamente às misturas betuminosas tradicionais (Way, 2003).

“Uma vez iniciado o fendilhamento no reforço, a sua propagação processa-se da sua base para a superfície do pavimento. Este fenómeno, designado por reflexão de fendas, é causado pela combinação do carregamento cíclico do tráfego com o efeito térmico das variações de temperatura.” (Minhoto, 2005)

Para evitar que as fendas existentes no pavimento antigo se propaguem ao reforço é necessário adotar medidas que retardem essa propagação ou que eliminem as fendas existentes, como se pode observar na figura 15.

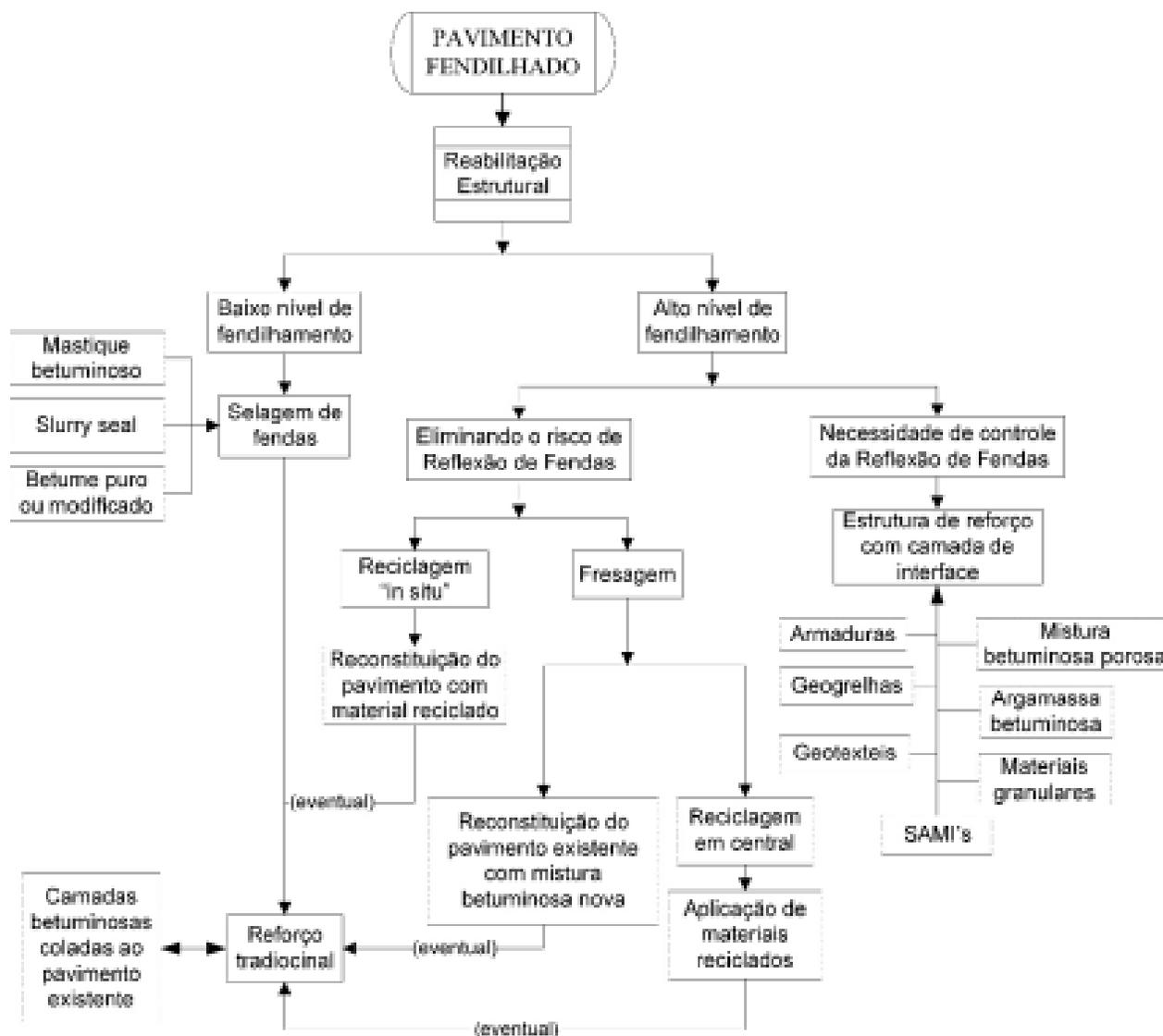


Figura 15: Estratégias normalmente adotadas na reabilitação estrutural de pavimentos fendilhados (Minhoto, 2005)

De entre as técnicas retardadoras da propagação de fendas, destaca-se a aplicação de: geotêxtil impregnado em betume, SAMI's, armaduras ou grelhas e camadas betuminosas de elevada espessura.

Relativamente à eliminação das fendas existentes do pavimento pode optar-se pela fresagem, reciclagem e regeneração da(s) camada(s) fendilhada(s).

A escolha da utilização de geotêxtil, armaduras e grelhas deve ter em consideração que a sua aplicação inviabilizam futuras operações de reciclagem ou fresagem, uma vez que estes elementos não são desfragmentados pelos "dentes" do rotor do equipamento fresador.

### 3.2.1. SAMI's

A SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) consiste numa camada de reduzida espessura, 1 a 2 cm, constituída por uma grande quantidade de betume modificado com polímeros e agregado de pequenas dimensões (granulometria 0/6). Esta camada é criada entre o pavimento fendilhado e o reforço, tendo a propriedade de ser bastante elástica e com isso absorver parte das tensões geradas na zona das fendas, deformando-se sem fendilhar e retardando a propagação das fendas ao reforço.

Esta última apesar de não ser uma técnica direta de reabilitação estrutural, mas sim superficial, acaba por ter um efeito retardador da propagação das fendas no pavimento existente e ainda confere impermeabilização às camadas inferiores, reduzindo assim o avanço da degradação no seu desempenho estrutural.

A SAMI quando integra polímeros provenientes da reciclagem de pneus usados é conhecida por SAMI-R (Rubberized Stress Absorbing Membrane Interlayer) ou ARAMI (Asphalt Rubber Aggregate Membrane Interlayers). Em função da sua composição, podem ser adquiridas diferentes propriedades, mais ou menos elásticas, como se mostra na tabela 3 para duas misturas ARAMI diferentes. As misturas mais elásticas (Soft SAMI) conferem melhor desempenho a pavimentos também eles mais elásticos e a mistura menos elástica (Hard SAMI) funciona melhor em pavimentos com maior rigidez (Shatnawi et al., 2011).

*Tabela 3: Propriedades mecânicas de duas misturas SAMI (Shatnawi et al. 2011)*

	Módulo de Deformabilidade (E)		Módulo de Distorção (G)	
	Ex = Ey	Ez	Gx = Gy	Gz
<b>Soft SAMI</b>	10 MPa	80 MPa	4,17 MPa	33,33 MPa
<b>Hard SAMI</b>	35 MPa	100 MPa	14,58 MPa	41,67 MPa

### 3.2.2. Geotêxtil Impregnado com Betume

À semelhança da SAMI o geotêxtil impregnado com betume funciona como uma camada retardadora da propagação de fendas entre o pavimento fendilhado existente e a nova camada de reforço.

O geotêxtil já é um material conhecido na construção rodoviária usado em aterros, drenos, como elemento de separação entre as camadas betuminosas e granulares, etc. Este na sua forma original não dispõe de propriedades que o tornem benéfico no retardamento da reflexão de fendas, no entanto a sua capacidade de reter o betume dota-o de excelentes propriedades elásticas. A tabela 4 apresenta as propriedades de um dos geotêxtis impregnados com betume avaliados na dissertação efetuada por Natália Correia, Universidade de São Paulo, 2010.

*Tabela 4: - Propriedades mecânicas de um geotêxtil impregnado com betume (Correia,*

2010)

Geotêxtil Impregnado com Betume <i>(não tecido, 100% polipropileno, fibras curtas, 200 g/m<sup>2</sup>)</i>	Módulo de Deformabilidade (E)		Módulo de Distorção (G)	
	$E_x = E_y$	$E_z$	$G_x = G_y$	$G_z$
	0,9 MPa	9 MPa	0,38 MPa	3,8 MPa

As características mecânicas do geotêxtil sem impregnação, a espessura, a capacidade de reter o betume e as características do betume utilizado na impregnação vão sempre influenciar o seu desempenho no retardamento da propagação de fendas.

A aplicação de geotêxtil impregnado com betume na interface do reforço com o pavimento existente traz vantagens na impermeabilização, quer impedindo que a água se infiltre da superfície para as camadas granulares e fundação, mas também no sentido oposto sobre forma de vapor e capilaridade (manchas de humidade), tal como a SAMI.

O geotêxtil impregnado com betume tem a sua desvantagem na dificuldade de instalação.

Este deve apenas ser colocado sobre superfícies regulares, sendo necessário colocar uma fina camada betuminosa de regularização no caso de o pavimento estar muito degradado e apresentar algumas irregularidades.

Deve-se ter especial atenção em não deixar dobras no geotêxtil colocado sobre o pavimento, para isso, deve ser desenrolado em linha reta manualmente ou com auxílio de equipamento mecânico, sendo especialmente difícil de instalar em estradas sinuosas.

O desenrolar e as sobreposições longitudinais devem ser efetuados no sentido da pavimentação, para que as máquinas não arrastem e desposicionem geotêxtil. Aconselhando-se sobreposições de 10cm na longitudinal e 20cm na transversal, ver figura 16 (Fibertex Nonwovens).

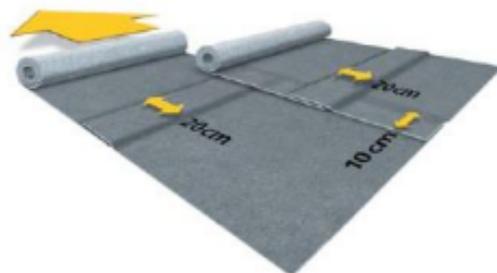


Figura 16: Sobreposição longitudinal e transversal de geotêxtil para impregnação com betume (imagem Fibertex Nonwovens).

### 3.2.3. Armaduras e Grelhas

As armaduras e grelhas atuam, tal como no betão armado, absorvendo as elevadas tensões de tração que surgem na parte inferior do pavimento, nomeadamente na zona das fendas, impedindo a mistura betuminosa de fendilhar.

As grelhas distinguem-se por serem constituídas por fibras de materiais sintéticos (polipropileno, poliéster, fibra de vidro e fibra de carbono), formando uma rede de malha quadrangular. As grelhas apresentam vantagens na facilidade de instalação por estarem disponíveis em rolos, serem leves e facilmente aderentes ao pavimento.

As armaduras são metálicas e estão disponíveis sob diversas formas (malha de aço, rede, grelha tridimensional tipo favos de mel). A instalação das armaduras/grelhas compreende uma primeira rega de colagem, seguida da colocação das armaduras/grelhas sobre o pavimento fendilhado (com ou sem pregagem) e posteriormente cobertas pela mistura betuminosa de reforço. Caso se verifique necessário, pode ser executada uma camada de regularização antes da colocação das armaduras/grelhas.

As armaduras em aço sensíveis à corrosão devem ser regadas com betume de forma a ficarem protegidas contra a corrosão, devido à possível infiltração de água através de futuras fendas, micro-fendas ou porosidade da própria mistura betuminosa.

Trabalhos de investigação levados a cabo na Finlândia e na Suécia, apoiados em estudos experimentais realizados em estradas e laboratório, mostrou que a aplicação de malhas de aço nos pavimentos flexíveis durante a sua construção e reabilitação conferia às estradas as seguintes propriedades (Nuno Reis, 2009):

- aumento da capacidade de carga;
- aumento da resistência à formação de rodeiras;
- aumento da resistência ao aparecimento de fendas;
- aumento da resistência aos assentamentos laterais;
- diminuição do risco de aparecimento de fendas nas camadas de reforço;
- aumento da resistência a fendilhação devido ao gelo

Devido ao seu elevado módulo de deformabilidade, as armaduras tipo malha de aço e as grelhas de carbono são técnicas indicadas para aplicação em casos de pavimento severamente fendilhados.

Na tabela 5, são apresentados os módulos de deformabilidade das grelhas ou armaduras, tendo em consideração uma redução imposta às grelhas constituídas por fibras, que devido ao facto de a grelha ser composta por vários fios e esses mesmos fios serem compostos por fibras, o arranjo das fibras não é perfeito e não confere a total resistência permitida pela fibra. Pelo que, para efeitos de dimensionamento os principais autores e projetistas aconselham a afetação do módulo de deformabilidade das grelhas em fibra através de um coeficiente redutor que permita conferir uma considerável margem de segurança.

*Tabela 5: Módulo de deformabilidade de armaduras e grelhas.*

Armadura ou Grelha	Módulo de Deformabilidade da Fibra $E_f$ (MPa)	Módulo de Deformabilidade E (MPa)
Aço	-	210 000
Fibra de Carbono	240 000	160 000*
Fibra de Vidro	70 000	47 000*
Fibra de Poliéster	15 000	10 000*
Fibra de Polipropileno	12 000	8 000*

\* Tendo em consideração o deficiente arranjo das fibras, é recomendado um fator de redução de 1,5 do módulo de elasticidade teórico da fibra (S&P Clever Reinforcement Company).

### 3.2.4. Fresagem

A fresagem é um processo a frio de corte mecânico rotativo e contínuo das camadas betuminosas de um pavimento existente, no qual é permitido regular a profundidade a fresar. Esta técnica tem como finalidade a remoção do pavimento degradado antes de ser sobreposto um reforço betuminoso e traz como benefício a eliminação das patologias superficiais, eliminação total ou parcial das fendas que ainda permite manter a cota do pavimento existente após aplicação do reforço betuminoso.

O equipamento fresador é constituído por um tambor rotativo dotado de “dentes” em carboneto de tungsténio para a remoção do betume e uma transportadora tipo tapete rolante para conduzir o material fresado até um camião que precede no avanço da fresa, dependendo da capacidade do equipamento é possível fresar a totalidade de uma via de trânsito até uma profundidade de 50cm.

Durante a fresagem deve-se manter uma rega do pavimento de modo a permitir o arrefecimento dos “dentes” da fresa e também para controlo da poeira.

Para finalizar a fresagem e de modo a deixar a superfície apta a receber o reforço, deve-se limpar a área fresada utilizando vassouras mecânicas com caixa de recolha e armazenamento do material varrido.

O material fresado é diretamente transportado para um camião que segue na frente, através do tapete rolante incorporado pelo próprio equipamento fresador, tendo depois a possibilidade de o entregar numa central de produção de misturas betuminosas com material reciclado ou depositado em local adequado, para utilização em camadas granulares em obras de expansão e construção nova.

O material oriundo da fresagem da camada de desgaste e da camada de regularização em mistura betuminosa, e mesmo o agregado das camadas granulares do pavimento, são materiais bastante adequados à reutilização na própria intervenção, mantendo o material em grande parte com as suas características, devendo, se necessário, ser corrigido com novos agregados e ligante (Cabeças, 2014).

A gestão de resíduos dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) prevê a possibilidade de reincorporação de resíduos de betuminosos em central, desde que

sejam cumpridas as especificações técnicas elaboradas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o objetivo de diminuir a utilização de recursos naturais e de minimizar o recurso à deposição em aterro, permitindo assim um aumento do tempo de vida útil dos recursos naturais (Cabeças, 2014).

A fresagem é uma técnica muito utilizada na reabilitação de estradas com elevada importância e tráfego (como autoestradas), onde é possível reabilitar uma única via sem condicionar o trânsito das outras vias e fresando uma determinada espessura de betuminoso que em seguida pode ser reconstruído mantendo a cota do pavimento relativamente às restantes vias. Esta intervenção tem vindo a ser muito utilizada com aplicação de grelhas em fibra de vidro ou carbono antes do reforço betuminoso, conferindo ao pavimento uma maior capacidade de suporte e resistência à fadiga, muito útil em vias de alta e de baixa velocidade.

Também se utiliza a fresagem para a remoção de pavimentos betuminosos em pontes, viadutos e outras obras de arte, assim como para melhorar o coeficiente de atrito em zonas demarcadas pela perda de aderência entre pneus-pavimento.

### 3.2.5. Reciclagem

A reciclagem é um processo que permite obter novas misturas a partir da fresagem dos próprios materiais do pavimento a reabilitar, quer sejam camadas betuminosas ou granulares. Com o material fresado é possível fabricar novas camadas betuminosas, granulares e granulares estabilizadas com ligantes hidráulicos. Sendo apenas necessário adicionar uma pequena parte de novos materiais: ligantes, agregados ou misturas betuminosas.

Esta técnica permite eliminar todas as patologias do pavimento existente e a construção de um pavimento totalmente novo com poucos gastos de recursos e com reduzido desperdício dos materiais do pavimento existente. Desta forma é possível reduzir custos económicos e danos ambientais, não sendo necessário acumular os materiais fresados e reduzindo a quantidade de novos agregados e ligantes betuminosos.

Existem diversas técnicas de reciclagem, distinguindo-se pelo local de execução, temperatura de fabrico e tipo de ligante a adicionar:

- Local: o processo de reciclagem pode ser executado no local da intervenção (“in situ”) ou em central.
- Temperatura: o fabrico da mistura reciclada pode ser efetuado a quente, semi-quente ou frio (temperatura ambiente).
- Ligante: o ligante a adicionar à mistura reciclada pode ser o cimento, betume, betume espuma e emulsão betuminosa.

De acordo com as diferentes técnicas de reciclagem é possível optar pelos seguintes processos de reciclagem:

- reciclagem “in situ”, a frio, com cimento;
- reciclagem “in situ”, a frio, com emulsão betuminosa;
- reciclagem “in situ”, a frio, com betume espuma;
- reciclagem “in situ”, a frio com cimento e emulsão;
- reciclagem “in situ”, a quente com betume/rejuvenescedor;
- reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa;
- reciclagem em central, a frio, com betume espuma;
- reciclagem em central, semi-quente, com emulsão betuminosa;
- reciclagem em central, a quente, com betume;
- reciclagem “in situ”, a quente, com betume.

A reciclagem “in situ” implica uma operação “em comboio” com diferentes composições em função do procedimento de reciclagem utilizado e adquire vantagem sobre a realizada em central, no que diz respeito à poupança, quer ambiental ou económica, no entanto peca pelo controlo de qualidade, que não pode ser assegurado como em central.

As vantagens da reciclagem “in situ” são as seguintes (Martinho, 2005):

- evita o transporte dos materiais fresados para outro local;
- reduz a degradação dos pavimentos das estradas utilizadas pela obra;
- dispensa os depósitos provisórios;
- menor tempo de execução;
- menores consumos energéticos (em alguns casos);
- menor ruído e poluição atmosférica (em alguns processos);
- menor investimento total em equipamentos (em alguns processos);
- aproveita na íntegra todos os materiais existentes no pavimento intervencionado.

No entanto, apresentam-se algumas desvantagens no uso da reciclagem “in situ”, que de qualquer modo podem ser atenuadas e compensadas:

- as condições locais de execução e a heterogeneidade das camadas existentes afetam a qualidade do trabalho e o rigor no tratamento ao longo da obra;
- alguns equipamentos mais complexos estão sujeitos a avarias no local da obra, onde o acesso às oficinas é mais lento;

A reciclagem em central obtém misturas com maior fiabilidade e qualidade no produto obtido, no entanto requer o transporte do material fresado até à central e de novo para

o local da obra, sendo um problema acrescido em função do afastamento entre a central e a obra. Aumenta ainda o tráfego de veículos da obra, quer na zona de trabalho quer no trajeto entre a central e a obra, afetando tanto utilizadores da via intervencionada como os utilizadores do trajeto à central. Pode ainda dizer-se que, o elevado tráfego de veículos da obra, vai também contribuir para a degradação dos pavimentos no seu trajeto, assim como constituir um custo extra de combustíveis, aumento da poluição atmosférica e de ruído.

A reciclagem em central é realizada nas mesmas centrais de produção de misturas betuminosas novas, desde que esta esteja preparada para tratar o material fresado.

Ao contrário do que acontecia na reciclagem “in situ”, a reciclagem em central não utiliza a totalidade do material fresado, no entanto pode ser armazenado para incorporar em novas misturas de outras obras.

Em central apenas uma parte do material fresado é que pode ser incluído na produção da mistura betuminosa, podendo este variar entre os 10% a 70% em função do tipo de central, dos equipamentos que a constituem e dos métodos utilizados (Cunha, 2010).

O processo de reciclagem deve ser ponderado em função do ligante e das condições climatéricas esperadas em obra, visto que estas vão condicionar a temperatura a que a mistura será realizada.

Os processos de reciclagem a frio exigem menor consumo energético e podem ser utilizados os seguintes ligantes: cal, cimento, emulsão betuminosa e betume espuma. Porém estes processos são bastante sensíveis às condições meteorológicas, pelo que a sua escolha deve ponderar a temperatura e o local de execução.

A reciclagem semi-quente, apesar de ser executada em central, permite reciclar a totalidade do material fresado a uma temperatura de 90°C, inferior às técnicas a quente. Tem ainda a vantagem de após ser fabricada, poder ser armazenada durante pelo menos 24h desde que a temperatura se mantenha acima dos 60°C, o que permite melhor qualidade em condições meteorológicas adversas e no caso de atrasos na sua colocação em obra.

A reciclagem a quente é uma técnica bastante dispendiosa e poluente, devido aos consumos energéticos quer no transporte até central ou no aquecimento das misturas em central ou “in situ”. A reabilitação “in situ” a quente necessita de equipamento muito específico para o aquecimento, fresagem e mistura, sendo que o aquecimento tem um elevado custo energético e poluidor.

#### *3.2.5.1. Reciclagem “in situ”, a frio, com cimento*

A reciclagem com cimento é uma técnica há muito tempo utilizada na reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis, por se tratar da técnica mais económica e especialmente indicada para pavimentos com grande espessura de camadas granulares e pequena espessura de camadas betuminosas, situação muito comum em pavimentos antigos.

Esta técnica cria uma camada de base tipo agregado de granulometria extensa estabilizado com cimento (AGEC), a partir dos materiais fresados e da adição de

cimento, transformando o pavimento em semirrígido com uma elevada capacidade resistente.

A camada resultante da reciclagem com cimento não é apta a receber as ações do tráfego, pelo que será sempre necessária a construção de uma camada betuminosa de desgaste sobre a camada reciclada.

Em tempos o cimento era manualmente espalhado sobre o pavimento a interencionar, a uma relação de “x” número de sacos de cimento por área de pavimento, no entanto atualmente já existem equipamentos que permitem fazer a distribuição de acordo com as especificações do estudo de projeto, podendo ainda optar-se por equipamento de espalhamento a seco ou em calda.

O “comboio” deste processo pode ter a seguinte ordem, em função sistema de espalhamento do cimento, a seco ou calda, respetivamente:

- Espalhador de cimento, camião-cisterna, recicladora, cilindro de pneus/rolo, motoniveladora e cilindro de pneus.
- Distribuidor de calda, recicladora, cilindro de pneus/rolo, motoniveladora e cilindro de pneus.

Existe a vantagem de que os módulos de deformabilidade da mistura reciclada com cimento não são suscetíveis às variações de temperatura, ou seja, o seu módulo de deformabilidade é constante a altas ou baixas temperaturas.

No entanto em intervenções de reciclagem com cimento onde a camada reciclada é concebida para ter um módulo de deformabilidade bastante elevado (> 10000 MPa) é aconselhada a aplicação de uma técnica retardadora da propagação de fendas entre a camada reciclada e as camadas betuminosas novas. Isto porque com a elevada rigidez da camada reciclada e a sua propensão à retração, esta tende a fendilhar e caso não haja meio de impedir a propagação das fendas, elas irão refletir-se na mistura betuminosa e condicionar o seu estado de qualidade. Por isso aconselha-se a aplicação de uma camada de SAMI, geotêxtil impregnado em betume ou a utilização de BMB na camada de reforço.

#### *3.2.5.2. Reciclagem “in situ”, a frio, com emulsão betuminosa*

Esta técnica caracteriza-se pelo ligante utilizado, a emulsão betuminosa, e tem como principal restrição o elevado tempo de cura e suscetibilidade às condições meteorológicas.

A mistura efetuada por uma fresa-misturadora e é composta pelo material fresado, emulsão betuminosa e água. Caso se considere necessário corrigir a granulometria, é previamente espalhado sobre o pavimento o agregado de correção, ver figura 15.

A reciclagem a frio com emulsão betuminosa não permite grandes espessuras da camada reciclada, uma vez que o processo de cura implica a evaporação da água, o que se torna mais moroso com o aumento da profundidade.

O tempo de cura pode estar compreendido entre as duas a três semanas, durante o qual não é permitido executar outras camadas (Nunes, 2008).

Por este motivo esta técnica é utilizada para a reabilitação das camadas betuminosas superficiais, devendo ser tida especial atenção ao clima em que as operações são executadas, necessitando de um clima quente e pouco húmido.

Este tipo de reciclagem visa sobretudo recuperar camadas de desgaste envelhecidas em pavimentos com valor estrutural adequado às condições de tráfego, abrangendo regra geral a espessura da camada de desgaste, acrescida de 3cm de forma a englobar a interface com a camada adjacente, que seria seriamente afetada pela violenta operação de fresagem. Não excedendo a espessura total de 15cm (Santos et al., 2008).

Esta técnica, relativamente à reciclagem com cimento, apresenta a desvantagem do elevado tempo de cura, maior custo do ligante e limitação na espessura de reciclagem do pavimento. No entanto, apresenta maior flexibilidade e não exige a execução de uma nova camada betuminosa de reforço apesar de ser recomendada.

Caso se pretenda manter a cota inicial do pavimento, pode ser retirada uma parte do material fresado, equivalente à espessura da camada de desgaste. Isto permite que o processo seja utilizado em faixas com várias vias, sem que o nível do pavimento seja alterado e sem impedir a circulação dos utilizadores pelas outras vias, ideal para aplicar em reabilitações de vias da direita ou vias de lentos (Branco et al., 2008).

### 3.2.5.3. Reciclagem “in situ”, a frio, com betume espuma

Este procedimento é muito parecido ao anterior, sendo que este obtém um processo de cura muito mais rápido que o anterior.

O betume espuma é formado pela expansão do betume, provocada pela adição de água fria (1% a 2%) ao betume quente (160°C a 180°C), este processo acontece num conjunto de camaras de expansão presentes numa barra de aspersão que ocupa toda a largura da recicladora de modo a processar a quantidade de betume espuma adequado à mistura, ver figura 17.

O betume expande em aproximadamente 15 vezes o volume inicial, e reduz novamente para metade do valor em aproximadamente 25 segundos, obrigando a que a mistura com os agregados seja imediata e por isso efetuada junto do rotor de fresagem.

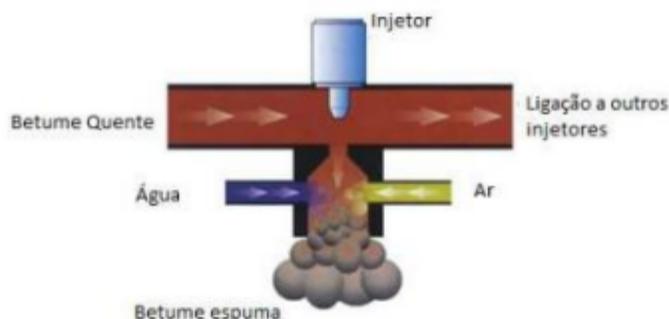


Figura 17: Câmara de expansão para obtenção do betume espuma (adaptado de Wirtgen, 2001)

O betume espuma torna-se extremamente adequado à mistura a frio, pois este

adquire uma viscosidade muito reduzida, próxima da viscosidade da água, o que permite o total envolvimento dos agregados e como a quantidade de água é pequena, evapora rapidamente e permite a rápida fixação ao agregado (Merighi, 2003).

O esquema de “comboio” é idêntico ao do processo de reciclagem com emulsão betuminosa, sendo que o caminhão-cisterna de emulsão betuminosa é neste caso substituído pelo caminhão-cisterna de betume.

As principais vantagens da reciclagem com betume espuma são (Merighi, 2003):

- facilidade de aplicação;
- baixa permeabilidade;
- obtenção de uma camada flexível com elevada resistência à fadiga;
- permite reciclar todas as camadas do pavimento, betuminosas e granulares;
- permite reciclar camadas tipicamente granulares e torná-las em camada de sub-base

Para que a cura seja completa, recomenda-se que apenas seja aplicado o revestimento betuminoso após 15 dias da reciclagem, para que haja uma evaporação completa da água utilizada na execução da camada. Não sendo possível, pode optar-se por aplicar um revestimento superficial duplo e assim permitir a abertura imediata ao tráfego (Ribeiro, 2003).

O módulo de deformabilidade das misturas recicladas com betume espuma, varia em função com a quantidade de betume e com os agregados utilizados (Ribeiro, 2003):

- 2500 a 5000 MPa, para mistura com reciclado e agregado britados (mistura 50/50)
- 3000 a 6000 MPa, para misturas de agregados britados.
- 2000 a 4000 MPa, para misturas de agregados naturais (IP30).

#### *3.2.5.4. Reciclagem “in situ”, a quente, com betume/rejuvenescedor*

A reciclagem “in situ” a quente é um processo em muito diferente dos anteriores, em termos de temperatura, de ligantes e dos próprios equipamentos envolvidos no processo de execução.

Esta técnica de reciclagem pode ter dois processos que intervêm em diferentes características do pavimento: termorreperfilamento e termorregeneração.

O termorreperfilamento consiste apenas em aquecer o pavimento existente e em seguida compactá-lo, este processo não necessita da adição de novos materiais ou misturas, tendo apenas como função o fecho das fendas e a regularização do perfil.

A termorregeneração consiste no aquecimento do pavimento existente, seguida da sua escarificação, recomposição e compactação, ver figura 18. Permite melhorar as características funcionais do pavimento e, com a recomposição, aumentar a sua

capacidade estrutural, no entanto não é aplicável em pavimentos com problemas estruturais (que apresentem deformações).

Inicialmente esta técnica necessita de que o pavimento a intervir seja aquecido e fresado de modo a ficar compatível com a mistura betuminosa nova. Isto envolve equipamentos muito específicos, dispendiosos e de grandes dimensões, tais como: pré-aquecedores, aquecedorfresados e aquecedor-misturador.

O aquecimento funciona através de um elevado número de jatos de ar quente a uma temperatura de cerca de 600°C sob elevada pressão, com atuação simultânea de um sistema de aspiração que permite recuperar o ar já aquecido e mantê-lo em circulação, poupando recursos no seu aquecimento. Mesmo assim os custos de aquecimentos são muito avultados, principalmente em condições climáticas desfavoráveis.



*Figura 18: Esquema do "comboio" de intervenção no processo de reciclagem "in situ" a quente com betume/rejuvenescedor (Martinho, 2005).*

A mistura betuminosa nova é adicionada numa relação de 40 a 50 kg/m<sup>2</sup> de pavimento intervir. Sendo que a incorporação da nova mistura corretiva está limitada a 30% do material da mistura escarificada.

No caso se pretenda manter a cota de pavimento, é necessário rejeitar uma quantidade de material fresado semelhante à quantidade da nova mistura corretiva, ideal para a reabilitação faixas de rodagem com múltiplas vias, em que apenas se pretenda reabilitar uma das vias (normalmente a via da direita ou via de lentos).

A utilização da reciclagem "in situ" a quente está limitada a profundidades máximas da ordem dos 7 cm, uma vez que para se conseguirem temperaturas suficientemente elevadas em profundidade existiria um aquecimento excessivo na superfície, que teria como consequência o envelhecimento do betume, precisamente o contrário daquilo que se pretende com a utilização deste tipo de reciclagem (Cunha, 2010).

Tendo em consideração a necessidade de equipamentos tão específico e as suas dimensões, esta técnica apenas se torna viável em países com grandes redes rodoviárias e com largura de faixa considerável, para não perturbar em demasia o tráfego rodoviário. As características do equipamento não permitem efetuar traçados sinuosos nem evitar obstáculos do pavimento.

Uma das principais condicionantes do processo de reciclagem "in situ" a quente é a grande quantidade de combustíveis utilizados para o aquecimento do pavimento e misturas, que provocam a libertação de substâncias nocivas para a atmosfera.

#### *3.2.5.5. Reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa ou betume espuma*

A reciclagem em central a frio com emulsão betuminosa apenas difere da reciclagem em central a frio com betume espuma, no que diz respeito ao ligante.

O pavimento a intervir é fresado com carregamento para um camião transportador (como indicado no subcapítulo 3.2.4), em seguida o material fresado é transportado até uma central de produção de betume onde este é tratado e utilizado no fabrico à temperatura ambiente da mistura reciclada, sendo depois novamente transportado para a obra, onde é aplicado como um pavimento novo, através da pavimentadora e compactado por um conjunto de cilindros de rolos e pneus.

Ao contrário do que acontece nos processos a frio com estes ligantes, em central a mistura fresada não pode ser completamente incorporada no fabrico da nova mistura. A incorporação de materiais fresados em misturas recicladas em central a frio está limitada a 50% para centrais contínuas e 30% para centrais descontínuas (Gomes, 2005).

A sua composição granulométrica, que originalmente pode ser muito variável, é corrigida com a adição de novos agregados britados ou naturais que aumentarão a capacidade resistente da mistura, com valores idênticos aos indicados nos subcapítulos 3.2.5.2 e 3.2.5.3, respetivamente correspondentes à utilização do ligante de emulsão betuminosa e de betume espuma.

O facto de a mistura ser produzida em central não permite contornar a suscetibilidade que a mistura reciclada a frio com emulsão betuminosa tem em relação à ocorrência de precipitação durante o seu processo de cura em obra.

Pode se concluir, que em central existe maior controlo na qualidade da mistura reciclada final, nomeadamente no processo de adição do ligante, no entanto deve-se ponderar em função dos custos de transporte entre a obra e a central.

Relembra-se que a utilização de misturas recicladas em central a frio, com adição de emulsão betuminosa ou betume espuma, pode ser aplicada na construção de pavimentos novos ou na construção dos reforços em mistura betuminosa, sem que para isso seja necessário transportar material fresado da própria obra. Isto porque a central pode incorporar material fresado que exista em armazenamento e que seja proveniente de outras obras de reabilitação onde se utilizou a fresagem.

#### *3.2.5.6. Reciclagem em central, semi-quente, com emulsão betuminosa*

Tal como acontece com os processos de reciclagem em central a frio, este processo comporta a necessidade de o pavimento ser fresado e o material resultante ser transportado até à central.

No entanto a reciclagem semi-quente permite aproveitar todo o material fresado, sendo apenas necessário adicionar novo material para corrigir a granulometria da mistura.

A reciclagem semi-quente é fabricada a uma temperatura de 90°C, inferior às técnicas a quente que incorpora uma temperatura na ordem dos 150°C. O fabrico da mistura à temperatura de 90°C permite diminuir a viscosidade da emulsão betuminosa para que

esta cubra a totalidade dos agregados e lhes confira uma elevada adesividade.

Tem ainda a vantagem de após ser fabricada, a mistura poder ser armazenada e compactada num período de pelo menos 24 horas desde que a temperatura se mantenha acima dos 60°C. O que permite melhorar a qualidade em condições meteorológicas adversas e contornar casos de atraso na sua colocação em obra.

O processo é finalizado com o transporte da mistura reciclada para a obra, onde é aplicada por meio de uma pavimentadora e compactada por cilindros de pneus e rolos.

Relativamente às misturas recicladas em central a frio, a reciclagem semi-quente com emulsão betuminosa permite obter misturas com reciclagem total do material fresado e com qualidade e fiabilidade controlada, maior folga temporal para a sua aplicação em obra e melhor qualidade em condições meteorológicas adversas, pecando pelo superior custo de fabrico devido ao aquecimento da mistura.

Comparativamente às misturas recicladas a quente, o custo da técnica semi-quente é inferior e permite reciclar a totalidade do material fresado, no entanto a sua qualidade também é naturalmente inferior à da técnica a quente.

#### *3.2.5.7. Reciclagem em central, a quente, com betume*

O processo de reciclagem a quente apenas difere das anteriores reciclagens em central, pela temperatura e ligante utilizado. E em relação às misturas betuminosas novas produzidas em central, apenas difere pela componente da fresagem, transporte do material fresado até à central e pela utilização de materiais reciclados.

A técnica de reciclagem em central, a quente, com betume, consiste no fabrico de uma nova mistura betuminosa a quente, incorporando os materiais fresados, na própria obra ou noutras obras, de modo a conseguir bons resultados técnico-económicos e ambientais. A qualidade de uma mistura betuminosa com materiais reciclados deve ser comparada à das realizadas com materiais novos (Branco et al., 2008).

As misturas obtidas da reciclagem a quente apresentam desempenhos aproximadamente equivalentes às misturas novas, produzidas em central a quente. Portanto podem ser utilizadas nos diversos fins das misturas betuminosas, como camada de base, regularização e desgaste. Podendo mesmo, ser aplicadas como reforço ou camada de desgaste de outro processo de reabilitação incluindo a reciclagem por outras técnicas.

O processo de reciclagem em central fixa a quente incorpora as seguintes fases (Pereira & Miranda, 1999):

- recuperação por fresagem do material do pavimento degradado;
- armazenamento e preparação do material recuperado, devendo diminuir-se o tamanho do material por fragmentação e homogeneizá-lo;
- fabrico da nova mistura betuminosa utilizando o material recuperado;
- colocação em obra da mistura betuminosa obtida, sendo esta colocação feita pelos métodos e com os equipamentos tradicionais de aplicação de misturas

betuminosas quentes (pavimentadora, cilindros de rolo e cilindros de pneus).

A técnica de reciclagem em central a quente, não permite incorporar a totalidade da mistura fresada, sendo limitada em função do tipo de central, sistemas que a constituem e qualidade do material fresado. As centrais contínuas podem atingir uma taxa de reciclagem de 50% e as centrais descontínuas 70% (Gomes, 2005).

taxa de reciclagem em central contínua a quente pode ser aumentada até 70% se o material fresado for previamente aquecido a 90°C

### 3.2.5.8. Reciclagem “in situ”, a quente, com betume

A reciclagem a quente pode ser realizada “in situ” através de uma central móvel de reciclagem a quente, ver figura 19.

Esta central incorpora um processo em “comboio”, que se inicia com a fresagem, seguida da colocação do material fresado numa tremonha doseadora, onde o material fresado é filtrado e os agregados novos para a correção da granulometria da mistura são adicionados. Segue-se secagem, aquecimento e mistura com o betume. Por último a nova mistura reciclada é despejada na pavimentadora e compactada pelos cilindros.

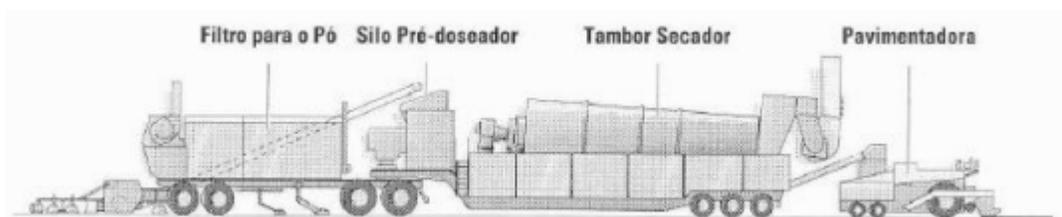


Figura 19: Central móvel de reciclagem a quente (Pereira & Miranda, 1999 – EAPA).

Esta técnica permite taxas de reciclagem de 90%, no entanto e como é natural, a qualidade da mistura obtida é inferior à das misturas realizadas em central fixa, uma vez que o tratamento e dosagens dos materiais não podem ter o mesmo controlo que em central fixa. De qualquer forma, supera a qualidade das misturas recicladas a frio.

Esta técnica exige ser bem estudada e executada, principalmente para taxas de reciclagem superiores a 45% em que se pretende usar o material reciclado como camada de desgaste. Sendo por isso, preferencialmente utilizada em camada de regularização.

Para um aproveitamento total do material fresado, pode-se combinar a reciclagem “in situ” a quente com a reciclagem em central a quente, ambas utilizando o betume como ligante, obtendo assim duas misturas de boa qualidade sem desperdício de material.

Para isso sugere-se que a reciclagem “in situ” utilize uma determinada percentagem dos materiais fresados ( $\leq 60\%$ ) para a realização de uma camada de regularização e a restante parte do material fresado seja enviado para central fixa ( $\geq 40\%$ ) onde se fabrica a camada de desgaste.

A combinação destas duas técnicas de reciclagem apresenta as seguintes vantagens:

- total utilização dos materiais fresados, sem necessidade de armazenamento prolongado ou vazadouro;
- redução no número de viagens entre central e obra, uma vez que a quantidade de material fresado e mistura nova a transportar é menor;
- otimização da qualidade da mistura reciclada “in situ” e em central;
- eliminação das patologias do pavimento;
- camadas betuminosas com elevada capacidade suporte e resistência à fadiga;
- pavimento mais duradouro, com as características semelhantes a um pavimento novo.

#### 4. Reabilitação da estrada que serve de ligação entre a Av. do Trabalho e a Av. União Africana

Para dar início ao processo de reabilitação da estrada deve-se seguir os seguintes procedimentos:

- Limpeza da via
- Identificação das patologias
- Escolha do método de reabilitação a aplicar
- Aplicação do método

##### 4.1. Limpeza da via

Para avaliar a degradação de uma estrada, é essencial começar com uma limpeza adequada para garantir que a superfície a ser inspecionada esteja livre de detritos, poeira e outros obstáculos que possam interferir na análise.

Fez-se a devida sinalização da via e com recursos a vassouras, pás, carinha de mão, compressor, fez-se a remoção de todo material solto e poeira, para poder avaliar o estado do pavimento.



- d) **O abatimento longitudinal** quando localizado junto à berma pode resultar da deficiente compactação de taludes de aterro, da infiltração de água pela berma ou pela interface berma-pavimento, que provocam uma perda de capacidade de suporte das camadas granulares e/ou do solo de fundação.
- e) **1ª fase da desagregação da superfície** vulgarmente designada por “cabeça de gato”, o que consiste no destacamento do material de granulometria fina, deixando exposto e saliente o agregado de granulometria mais grossa.
- f) **Pelada**, as zonas do asfalto degradado, serviam como zona de absorção de água, tal água provocava a descolagem do asfalto com a base, criando zonas de retenção de água. É de notar que o defeito ocorria em quase toda a extensão da via.

#### 4.3. Escolha do método de reabilitação a aplicar

A escolha do método de reabilitação foi feita tomando em consideração as patologias encontradas, descartando o tapamento de buracos (reparações localizadas), e requalificação localizada da base, pois, os métodos são limitados e não apresentam soluções para uma extensão elevado, nos dando a opção mais adequada, que é a **Reconstrução da base (Reciclagem “in situ”, a frio, com cimento)** e **asfaltagem da via com uma espessura de 4 cm**.

##### 4.3.1. Reconstrução da base

Para a reconstrução da base, fez-se a remoção do alcatrão com recurso a uma TLB escavadora, removendo todo o lixo, entulho e alcatrão começando da AV. TRABALHO em direção a Av. UNIÃO AFRICANA como apresentado nas figuras 18.

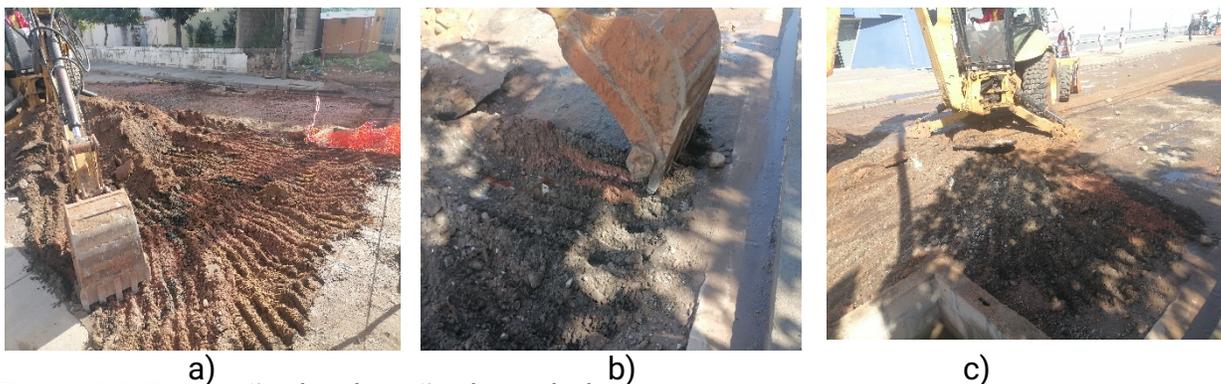
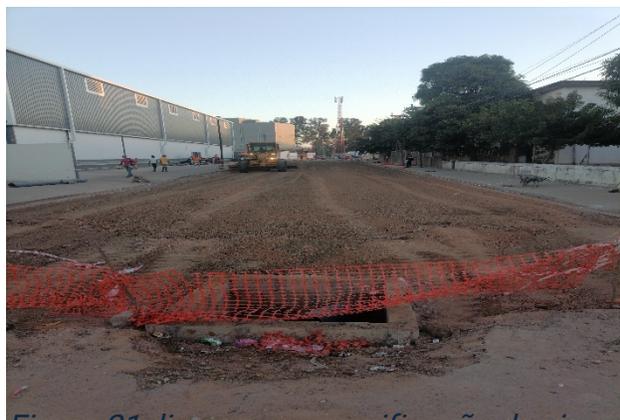


Figura 20: Remoção do Alcatrão degradado

A limpeza do material removido pela TLB foi feita com auxílio de uma niveladora, que logo a seguir escarificou o pavimento com intuito de misturar com solos importados (tout-venant) para aumentar a quantidade material existente e elevar a altura da via em relação as valetas existentes.



*Figura 21. limpeza e escarificação da via com recurso a niveladora*

Uma vez adquirida o nível de altura desejado, com a ajuda do topografo, fez-se o abaulamento da estrada, tendo o eixo como o ponto mais alto e as bermas como mais baixo, conduzindo assim a água concentrada pelas chuvas para o sistema de drenagem da via.

Durante o processo de mistura dos materiais correspondente a base, foi se acrescentando água para evitar a perda dos materiais finos e obter teor de humidade óptimo para a compactação. Todos trabalhos de recolha e análises das amostras, sejam elas no âmbito de reconstrução da base, na aplicação do MC30, e asfaltagem foram feitos pelo LEM (laboratório de engenharia de Moçambique).

Uma vez que o teor de humidade estava bom (superior a 95%), fez-se a devida compactação dos solos, recorrendo ao cilindro compactador, que quando terminou a primeira fase de compactação, colocou-se a niveladora para fazer as correções e a cisterna de água para fazer a rega. Depois compactou-se novamente terminando assim o trabalho de compactação pretendido.

Aplicou-se água nos 3 dias seguidos 2 vezes ao dia (as 7horas, e as 16horas) e mais 3 dias (1 vez ao dia no período da tarde, 13 horas), com o objectivo de garantir uma cura adequada a base e uma densidade ideal.

Terminado o processo de cura da base, fez-se a limpeza novamente, para a remoção do material solto e poeira, recorrendo a vassouras, pás e compressor, com o intuito de fazer a rega com o MC30, com recurso a uma motobomba conforme a figura 20. Após a rega, esperou-se 3 dias para atingir a cura.



a);



b)



c);



d)

Figura 22: Preparação e rega do MC30; a) motobomba e tambor de MC30; b) limpeza da via; c) rega do MC30; d) base regada com o MC30.

**NOTA 1:** MC-30 é um tipo de betume de cura média adequado para regiões frias. Aplica-se em operações de manutenção de estradas, incluindo revestimentos de aderência e selos de lama.

Este tipo de betume é pulverizado sobre uma base granular para prepará-lo para a aplicação de uma mistura asfáltica. Com sua baixa viscosidade, os cortes MC-30 revestem e unem agregados soltos na superfície da base.

O MC-30 também impermeabiliza o material de base acabado e permite a sua ligação a uma camada de pavimento subsequente.

Por sua baixa viscosidade, o betume MC-30 é recomendado para ser utilizado quando a base é densa e de difícil penetração. E apresenta um tempo de absorção de 48h

#### 4.4. Aplicação do revestimento em asfalto a uma espessura de 4cm

Após a aplicação do MC30 deve-se esperar até que este atinja a presa que, dependendo

da urgência do trabalho pode ser antecipado até 48h mas, no nosso caso, para garantir uma melhor absorção e impermeabilização reiniciamos a limpeza no 5º dia após a rega.

Com o uso do material de limpeza previamente elucidado, fez-se a limpeza e a rega do SS60 por cima da base limpa, para a aplicação do asfalto.

**NOTA 2:** A emulsão SS 60 STABILIZATION é uma emulsão betuminosa aniônica de baixa viscosidade, estável e de pega lenta. Ela é usada como camada adesiva ou emulsão estabilizadora em aplicações BSM. Pode ser diluído em água e aplicado em vedações envelhecidas como spray de enriquecimento ou como camada de aderência para uma camada de asfalto.

A natureza estável do SS 60 o torna ideal para misturar com água semidura, ele foi projetado para ter uma vantagem adicional de aderência quando usado como depressor de poeira.

Após a aplicação do SS60 deixou-se agir por um período aproximado a 1h, enquanto isso, preparava-se as máquinas para iniciar a asfaltação da via, dentre elas tínhamos o cilindro compactador, compactador pneumático, e espalhadora de asfalto (que foi ligada e colocado o sistema de aquecimento em funcionamento, para compensar a perda de calor no transporte)

O alcatrão foi produzido em uma central e transportada por caminhões SINOTRACK e coberto por uma lona, com o objectivo de reduzir a perda de calor no percurso até a obra. Uma vez que o equipamento (espalhadora) já estava pronta, iniciou-se a descarga do alcatrão, figura 21. a), que por sua vez, foi espalhado e retificado manualmente, figura 21.b), dando início ao processo de compactação com recurso ao cilindro compactador usando aspersão de água sobre o cilindro (figura 21 c), para evitar a colagem do asfalto sobre o cilindro, tomando o cuidado de não exagerar para evitar arrefecer demasiado o alcatrão pois, provocaria a má compactação do mesmo.

As correções sobre a zona compactada pelo cilindro, são feitas pelo compactador pneumático que, retifica as regiões mal compactadas pelo cilindro, melhorando a superfície do asfalto (reduzindo a rugosidade), figura 21.

**NOTA 3:** A medida que o espalhador de asfalto avança, controla-se a espessura, considerando o acréscimo para a compactação dando uma medida final de 4.5cm de espessura, figura 21 e) e f).

A temperatura de descarga do asfalto é controlada, devendo estar acima de 120°C.

Uma vez terminada a compactação com o Cilindro pneumático, deixa-se a estrada encerrada por um período de aproximadamente 5 horas para liberar a passagem de veículos ligeiros. A medida que o asfalto arrefece, vai ganhando mais resistência. 48horas depois a estrada pode ser aberta para a passagem de camiões articulados, dando por encerrada o processo de reabilitação da estrada.

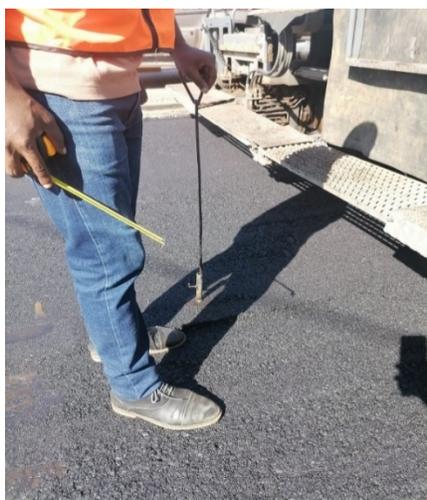


a) descarga do alcatrão quente na espalhadora; b) espalhando o alcatrão na via



c) início da compactação com o cilindro compactador

d) correcção das falhas com o



compactador usando aspersão de água;

pneumático usando a aspersão de água;

e) controle da espessura

f) verificação da espessura

g) controle da T° de chegada

Figura 23: Aplicação do revestimento em asfalto a uma espessura de 4cm

## 5. Conclusões

O presente trabalho trouxe uma abordagem da reabilitação de pavimento flexíveis. Tendo sido alcançado todos os objectivos previamente definido e reunir conhecimentos sobre a degradação de pavimentos, os seus agentes, e diferentes tipos de reabilitação.

Apresentou-se temas importantes na área de vias de comunicação, e descreveu-se várias patologias e possíveis tipos de reabilitação de pavimento flexível chegando as seguintes conclusões:

- Os níveis de degradação dos pavimentos determinam o método de reabilitação a considerar;
- Existe uma ligação direta entre as patologias existente, e todas elas tem como consequência a abertura de fendas variando com a causa do acontecimento.
- Quanto mais degradado pavimento, maior será o custo de reabilitação.
- Antes do início da reabilitação, deve-se estudar de forma exaustiva as causas da degradação, para, à posterior, considerar todos os efeitos na tomada de decisão.
- O tipo de tráfego de dimensionamento influencia significativamente na vida útil do pavimento.

Contudo, para a reabilitação do pavimento que serve de ligação entre a Av. Trabalho e Av. União Africana, usou-se para a base á Reciclagem "in situ", a frio, com cimento, e aplicação de uma nova camada de revestimento em asfalto quente com uma espessura de 4cm, devido ao baixo tempo de execução, elevado período de manutenção considerando o tráfego existente, e custo de execução moderado quando comparando aos outros métodos.

## 6. Recomendações

Quanto mais degradada a via estiver, maior será o custo de manutenção da mesma deveria criar-se uma entidade gestora de pavimentos, para manter dados actualizados sobre o estado de degradação das vias.

O permanente conhecimento, por parte da entidade gestora, sobre o estado de um determinado pavimento é fundamental para que seja mantida a qualidade do serviço prestado aos utilizadores. Permitindo que sejam estabelecidas as melhores estratégias de conservação, de forma a conjugar uma boa relação em termos económicos da intervenção e qualidade das características do pavimento após intervenção.

As inspeções visuais regulares são uma parte bastante importante de um sistema de gestão da conservação de pavimentos rodoviários, permitindo manter um acompanhamento contínuo do nível de degradação do pavimento e, caso se verifique necessário, intervir atempadamente sobre degradações pontuais, de forma a evitar o seu agravamento e progressão da degradação para outras partes do pavimento, sem que seja necessária uma intervenção mais dispendiosa.

De modo a uniformizar a avaliação efetuada por cada operador, estes devem ser providos de um catálogo de patologias que lhes permita fazer uma avaliação idêntica.

A inspeção visual pode ser efetuada percorrendo a estrada a pé ou num veículo a baixa velocidade, fazendo o registo da observação num documento em papel ou digital, devidamente destinado ao efeito. Atualmente é possível utilizar software informático que permitem efetuar o registo das observações integrando diretamente a sua localização no pavimento através de registo GPS.

A permanente contagem do número e tipo de veículos que utilizam a estrada é um parâmetro fundamental para qualquer sistema de gestão rodoviária. Além de ser um parâmetro essencial para o dimensionamento das características e tipo de intervenção a efetuar, tem também a finalidade de se poder observar qualquer alteração no tráfego de projeto previsto para o pavimento existente e se necessário efetuar uma intervenção antecipada e de acordo com as alterações no tráfego verificadas, prevenindo assim uma degradação prematura.

## 7. Referências bibliográficas

SS60-STABILIZATION-PDS-1.pdf (colas.co.za)

MC30 Cut Back Bitumen: Definition, Specification and Advantages-Infinity Galaxy

ANSYS®. (s.d.). Academic Teaching Introductory, Release 15.0 ANSYS Help Viewer.

Baptista, A. M., 2006. Misturas Betuminosas Recicladadas a Quente em Central – Contribuição para o seu Estudo e Aplicação. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Batista, F. G., 2009. Reabilitação de Pavimentos Flexíveis através de Reciclagem com Cimento. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

BP Bitumen, 2014. Guide to Bituminous Binders in Asphalt and Sprayed Sealing Applications.

Branco, F., Paulo, F., & Santos, L. P. (2008). Pavimentos Rodoviários. Almedina.

Cabeças, H. Z., 2014. Reciclagem de Pavimentos na Engenharia Rodoviária. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora. Évora.

Colombier, G., 1997. Cracking in pavements: nature and origin of cracks. Vanelstrate, A., Francken, L. (eds). RILEM report 18, Prevention of reflective cracking in pavements. E & FM Spon. London, UK.

Costa, H. M., 2008. Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Correia, N., 2010. Comportamento de geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica usados como sistema anti-reflexão de trincas. Dissertação de mestrado em Ciências, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

Dourado, F., Scherer, J. Uso de novos materiais em forma de grelhas “Prébetuminadas” para reforço de pavimentos Rodoviários. S&P Clever Reinforcement Company.

Estradas de Portugal, 2008. Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários. Almada.

Tipos de pavimentos rodoviários - Issuu,23/06/2024

Helder Capela Torrão, 2015. Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança

Leonardo Augusto Curado, 2019. Estudo sobre reabilitação de pavimentos flexíveis por meio de técnicas de reciclagem, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança

Picado-Santos, L.; Pereira, P. - Technical-Economical Evaluation of Pavement Recycling Alternatives. Third Gulf Conference on Roads, 2006. (PICADO-SANTOS & PEREIRA, 2006).

Rodrigues C. M. A. - Modelos de previsão da degradação de pavimentos: parâmetro IRI. Tese de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa 2013 (RODRIGUES, 2013)

Seixas, P. - Reciclagem de Pavimentos com Espuma de Betume – Uma Experiência a Grande Altitude, Cordilheira dos Andes, Peru. Mota-Engil, Pavimentações, S.A., Porto, 2008.(SEIXAS, 2008).

Wirtgen Group - Services catalog. Alemanha, 2003. (WIRTGEN, 2003).

Wirtgen Group - Cold Recycling Manual. Alemanha, 2004. (WIRTGEN, 2004).