

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

SÂMIRA APARECIDA PORTELA DE ARAUJO

**FENDILHAMENTO EM PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Paracatu

2019

SÂMIRA APARECIDA PORTELA DE ARAUJO

## **FENDILHAMENTO EM PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Almeida Oliveira.

Paracatu

2019

SÂMIRA APARECIDA PORTELA DE ARAUJO

## **FENDILHAMENTO EM PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Almeida Oliveira.

Banca Examinadora:

Paracatu - MG, 12 de novembro de 2019.

---

Prof. Dr. Alexandre Almeida Oliveira  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Esp. Carlos Eduardo Ribeiro Chula  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo  
Centro Universitário Atenas

Dedico este trabalho a Deus e à minha família pelo amor atribuído a mim ao longo dessa árdua jornada acadêmica e por sempre estarem presentes na minha vida. Em momentos difíceis foram meu refúgio, me fortaleceram e foram primordiais nessa trajetória.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre presente em minha vida, por ser meu alicerce e por tornar cada sonho uma realidade, mesmo que não seja no tempo escolhido por mim, mas no tempo determinado por ele.

Sou grata também a minha mãe, que mesmo em muitos momentos não compreendendo minhas angústias e aflições, sempre esteve presente fazendo com que essa jornada fosse menos dolorosa.

Por fim, agradeço aos meus amigos que por diversas vezes foram o motivo da minha motivação, me inspirando e me fortalecendo. Foram quem me incentivaram a querer algo melhor, sair do conformismo e almejar grandes sonhos.

## RESUMO

Os pavimentos flexíveis são constituídos de revestimentos asfálticos e subdivididos em camadas com dimensionamento específico para cada tipo de solo. Essas camadas devem ser construídas adequando a carga praticada sobre o pavimento de forma proporcionada, equilibrando os diversos esforços locais ocasionados pela circulação de veículos e pessoas. Quando os pavimentos flexíveis são expostos a ações de tráfego constante e condições ambientais variáveis, ficam susceptíveis a muitas deteriorações, das quais se destaca o fendilhamento. Este expressa como característica trincas no pavimento flexível, conduzindo-o para uma situação de ruína e, conseqüentemente, a situações de desconforto e insegurança por parte dos condutores de automóveis. Além disso, trata-se de uma patologia extremamente danosa às camadas que compõe o pavimento, já que sua incidência propicia a percolação de água em seu interior, potenciando a ação das próprias fendas e demais patologias. Estabelece, dessa forma, uma preocupação funcional e estrutural em torno dos revestimentos asfálticos a fim de minimizar a incidência destas e maximizar a qualidade do revestimento, aumentando sua vida útil e, conseqüentemente, gerando economia com esse tipo de tecnologia. As técnicas de recuperação do pavimento em situação de fendilhamento baseiam-se na utilização de capas selantes, microrrevestimento asfáltico, lama asfáltica ou tratamentos superficiais, todos estes empenhados na reposição das camadas estruturais corrompidas. Neste trabalho, foram analisadas as possibilidades de ocorrência de fendas nos pavimentos flexíveis, bem como suas características, tipologias e métodos de tratamento ao dano apontado, empregando uma metodologia descritiva através de revisões bibliográficas.

**Palavras-chave:** Pavimentos. Patologias. Fendilhamento. Recuperação.

## **ABSTRACT**

*Flexible pavements consist of asphalt coatings and subdivided into layers with specific dimension for each soil type. These layers must be constructed by adjusting the load on the pavement in a proportionate manner, balancing the various local efforts caused by the circulation of vehicles and people. When flexible pavements are exposed to constant traffic actions and changing environmental conditions, they are susceptible to many deteriorations, including cracking. This expresses as characteristic disruption in the flexible pavement, leading it to a ruin situation and consequently to a situations of insecurity and discomfort for car drivers. Moreover, it is an extremely harmful pathology to the layers that compose the pavement, since its incidence provides the percolation of water inside, enhancing the action of the cracks themselves and other pathologies. Thus, it establishes a functional and structural concern around asphalt coatings in order to minimize their incidence and maximize the quality of the coating, increasing your useful life and, consequently, generating savings with this kind of technology. Cracked pavement recovery techniques are based on the use of sealing covers, asphalt micro-coating, asphalt mud or surface treatments, all of these are committed to replacing the damaged structural layers. In this work we analyzed the possibilities of occurrence of cracks in flexible pavements, as well as their characteristics, typologies and treatment methods to the damage indicated, using a descriptive methodology through bibliographic reviews.*

**Keywords:** *Pavements, Pathologie, Cracking, Recovery.*

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1</b> – Camadas de revestimentos	15
<b>FIGURA 2</b> – Aplicação de capa selante no pavimento	22
<b>FIGURA 3</b> – Aplicação de microrrevestimento no pavimento	22
<b>FIGURA 4</b> – Aplicação de lama asfáltica no pavimento	23
<b>FIGURA 5</b> – Tratamento superficial utilizado na área urbana	24



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CBR	Índice Suporte Califórnia.
CM-30	Asfalto diluído de petróleo de cura média geralmente constituído de 50% de CAP e 50% de solvente de petróleo.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	10
<b>1.1 PROBLEMA DE PESQUISA</b>	11
<b>1.2 HIPÓTESES DE PESQUISA</b>	11
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	11
<b>1.3.1 OBJETIVO GERAL</b>	11
<b>1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	11
<b>1.4 JUSTIFICATIVA</b>	11
<b>1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO</b>	12
<b>1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO</b>	12
<b>2. PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b>	14
<b>2.1 REVESTIMENTO</b>	14
<b>2.2 BASES E SUB-BASES</b>	15
<b>2.3 SUBLEITO</b>	16
<b>2.4 REFORÇO DO SUBLEITO</b>	16
<b>2.5 REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO</b>	16
<b>2.6 IMPRIMAÇÃO ENTRE CAMADAS</b>	16
<b>3. DEFEITO DE SUPERFÍCIE</b>	18
<b>3.1 TIPOS DE FENDAS</b>	18
<b>4. TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM FENDILHAMENTO</b>	21
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	25
<b>REFERÊNCIAS</b>	26
<b>ANEXO A — Trinca isolada transversal</b>	29
<b>ANEXO B — Trinca isolada longitudinal</b>	30
<b>ANEXO C — Trinca isolada de retração</b>	31
<b>ANEXO D — Trinca interligada tipo bloco</b>	32
<b>ANEXO E — Trinca interligada tipo couro de jacaré</b>	33

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de transporte rodoviário brasileiro tem problemas, tendo-se em vista sua estrutura precária, os baixos investimentos financeiros, uma logística deficitária que não prevê uma integração consistente entre os diversos modais de transporte e as técnicas construtivas de pavimentação que são antigas. Nesse contexto, as patologias se tornam cada vez mais frequentes e persistem em caráter evolutivo, sendo o fendilhamento destaque dentre os inúmeros casos. Assim, a necessidade de investimentos econômicos ocorre em ritmo acelerado e manutenções periódicas são vitais para garantia da qualidade e êxito das atividades que dependem desse meio.

Quando comparado a outras técnicas de pavimentação, os pavimentos flexíveis são maioria no país devido ao seu custo-benefício. Porém os mesmos apresentam grande índice de anormalidades que divergem dos aspectos que se esperam da estrutura, o que acarreta grandes prejuízos aos cofres públicos devido à necessidade de manutenções periódicas, minimizando as vantagens atraentes à escolha desse método.

São inúmeras as patologias que podem surgir em pavimentos flexíveis, seja em decorrência de projetos deficientes, má execução da estrutura ou falta de manutenções, sendo que não dependem de uma combinação de fatores para o seu desencadeamento. Assim, um só erro já se faz suficiente para causar avarias ao pavimento. Na ocorrência de tal erro, sucederá danos ao pavimento que em sua maioria, são de caráter permanente.

As fendas no pavimento flexível são decorrentes de rupturas por fadiga e caracterizadas como fissuras e trincas. Sua denominação depende do tamanho de sua abertura: se estas forem perceptíveis a olho nu a uma distância inferior a 1,5 m do observador, caracterizam-se como fissuras, se visualizadas a uma distância superior que 1,5 m do observador, denominam-se trincas. Ambas se enquadram no fendilhamento e necessitam de olhares cautelosos por serem evolutivas e possuírem condição hospedeira para outras possíveis patologias.

Diante do exposto, foi realizado um estudo objetivo e compreensível sobre o fendilhamento no pavimento flexível, tendo como base seus aspectos, distinções e causas. Ao expor a deformação estrutural por fendas, esse trabalho propõe desmistificar a visão subjetiva a respeito das patologias, servindo de auxílio e inspiração de novos estudos na área.

## **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

Quais são os tipos de fendilhamento existentes em pavimentos flexíveis?

## **1.2 HIPÓTESES DE PESQUISA**

O fendilhamento resulta da ruptura das camadas que compõem um pavimento. Em pavimentos flexíveis, essa patologia pode se manifestar na forma de fendas isoladas, ramificadas, ou mesmo fendas em malha, as quais são popularmente conhecidas como pele de jacaré.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar as possibilidades de ocorrência de fendilhamento em pavimentos flexíveis.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) caracterizar o que são pavimentos flexíveis, elucidando quais são suas camadas estruturais;
- b) definir as tipologias de fendilhamento;
- c) discutir quais são as técnicas de recuperação dos pavimentos flexíveis com fendilhamento.

## **1.4 JUSTIFICATIVA**

As estradas exercem um papel fundamental na vida do ser humano, abrangendo desde sua locomoção ao trabalho até o transporte de sua alimentação, a qual ocorre nessa via de transporte rodoviário. Nas circunstâncias em que o método de pavimentação empregado não foi satisfatório ou quando as estratégias de manutenção foram insuficientes, há o surgimento de patologias, entre as quais predominam o fendilhamento, as degradações e as deformações. Tais problemas dificultam a funcionalidade das estradas e resultam em

complicações na logística de transporte, ocasionando atrasos e encarecendo as atividades dependentes desse meio.

As deformidades encontradas nas estradas brasileiras representam um fator agravante à segurança das pessoas, evidenciando, dessa forma, a carência de recursos necessários à manutenção adequada nos pavimentos flexíveis. No Brasil, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) estima que 99 % das estradas pavimentadas baseiam-se em pavimentação flexível (AGÊNCIA CNT DE NOTÍCIAS, 2017). Isso ocorre, pois esse método tem seu custo mais acessível e sua construção é mais rápida. Contudo, a pavimentação flexível é mais susceptível a patologias.

Diante do exposto, é evidente a importância de estudos na área da pavimentação, assim como investimentos eficazes que vão ao encontro da problemática que as patologias das estradas representam. Nesse contexto, esse trabalho é relevante ao discutir as possibilidades de ocorrência de fendilhamento em pavimentos flexíveis.

## **1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO**

Empregando uma metodologia de natureza descritiva (ANDRÉ; LUDKE, 1986), este trabalho foi desenvolvido por meio da realização de uma revisão bibliográfica capaz de descrever de maneira ampla a manifestação do fendilhamento nos pavimentos flexíveis, evidenciando seus tipos e características. O levantamento das informações foi realizado através da pesquisa em artigos científicos de livre acesso disponíveis no Google Acadêmico e também em livros de graduação relacionados ao tema, presentes no acervo da biblioteca do Centro Universitário Atenas.

As palavras chave utilizadas nas buscas foram: pavimentos, patologias e fendilhamento.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No primeiro capítulo foi abordada a introdução em conformidade com a dinâmica de estudo; formulação do problema de pesquisa; as características de estudo; o objetivo geral e os objetivos específicos; as justificativas, importância e contribuições da temática apresentada; a metodologia do estudo, bem como disposição estrutural da monografia.

O segundo capítulo foi destinado à caracterização dos pavimentos flexíveis, bem como apresentar suas demais propriedades como revestimento, bases e sub-bases, subleito,

reforço e regularização do subleito e imprimação entre suas camadas. Assim, foram elucidadas as diferentes funções entre as camadas que compõe o pavimento flexível e realizada a associação destas de modo a garantir uma adequada resistência mecânica em todo o processo executivo e demais especificidades.

No terceiro capítulo foram retratados os defeitos de superfície, evidenciando a temática principal do trabalho. Desse modo foi especificada a tipologia das fendas que podem surgir no pavimento, foram definidas suas peculiaridades e foi esclarecida a perda de qualidade estrutural e funcional do pavimento em decorrência desta patologia.

No quarto capítulo foram explanadas as técnicas de recuperação dos pavimentos flexíveis que apresentam situação de fendilhamento. As técnicas utilizadas como referência de estudo foram o uso de capas selantes, microrrevestimento asfáltico, lama asfáltica ou tratamento superficial para a restauração da patologia levando em consideração deformações definitivas, imperfeições longitudinais e área trincada observando seu grau de abertura e parâmetros como deflexão na superfície e a bacia de deformação.

Por fim, no quinto capítulo foram realizadas as considerações finais do presente trabalho, sendo sugeridos métodos de melhoramento de resistência do pavimento flexível de modo a aumentar a sua resistência, minimizando ou até mesmo evitando a incidência de patologias como o fendilhamento.

## **2. PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

O pavimento flexível é caracterizado por conter uma camada de revestimento asfáltico sobre uma camada de material granular ou mesmo sobre o próprio solo quando este possui estabilidade comprovada para resistir a determinados esforços. Quando comparado ao pavimento rígido, o pavimento flexível exibe uma melhor deformação elástica, conhecida também como deflexão. Os esforços aplicados neste pavimento são dispersos verticalmente em suas camadas inferiores, tendo assim aplicação de cargas entre suas camadas de forma porcionada (BALBO, 2017; SILVA, 2008).

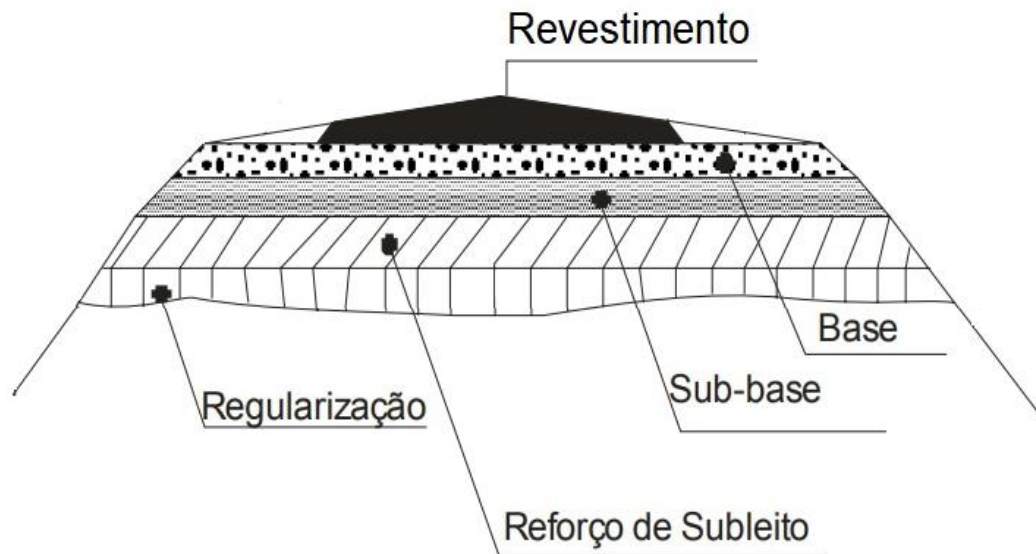
A disposição desse tipo de pavimento é projetada para que a recepção e a transmissão de todos os esforços aplicados aliviem as pressões sobre as camadas abaixo do revestimento. Desse modo, para a sua concretização, são empregadas grandes espessuras em detrimento da utilização de materiais deformáveis e aplicação constante cargas elevadas. Tais espessuras asseguram que a tensão exercida no solo seja inferior que sua própria resistência (PINTO, 2003).

No pavimento flexível, cada camada tem uma ou mais função específica que precisa assegurar aos veículos condições apropriadas de apoio e rolamento em quaisquer que sejam as condições climáticas. As cargas na superfície do pavimento geram tensões a estrutura, que por sua vez, depende da resistência mecânica da cada camada e da associação destas (BALBO, 2011).

### **2.1 REVESTIMENTO**

Conforme representado na Figura 1 (BALBO, 2011), o revestimento tem por finalidade, receber as cargas estáticas ou dinâmicas sem que ocorra grandes deformações elásticas, fragmentação de elementos ou avaria na compactação. Logo, carece ser conjugado de materiais aglutinantes dispostos de forma a evitar sua dissociação horizontal.

**FIGURA 2** - Camadas de revestimentos.



Fonte: PEREIRA, 2013.

Conforme Baldo (2011), os revestimentos podem ser divididos em duas ou mais camadas por procedimento, construtivo e de custo:

- Camada de rolamento: é a camada superior e aparente do pavimento, a qual fica continuamente exposta em contato com as cargas aplicadas na superfície e com ações ambientais;
- Camada de ligação: é a camada localizada entre a camada de rolamento e a base do pavimento flexível, também em mistura asfáltica;
- Camada de nivelamento: é a camada inicial de mistura asfáltica empregada na execução de reforços (recapeamento), com a missão de sanar as diferenças de níveis da pista, ou seja, alinhar o perfil para posterior execução da nova camada de rolamento;
- Camada de reforço: se trata de uma nova camada de rolamento, após anos de uso do pavimento flexível existente, refeita por razões estruturais, funcionais ou as duas. É mais conhecida como: “recape”, recapeamento ou “pano asfáltico”.

## 2.2 BASES E SUB-BASES

Na espera de amenizar os esforços sobre as camadas de solo inferiores, são empregadas as camadas de base e sub-bases, tendo por característica propagar a pressão para as camadas abaixo. Nos cálculos de dimensionamento das camadas do pavimento, quando se obtém uma camada de base muito grossa, por questões econômicas e construtivas, procura-se



adotar uma segunda camada. Nesse caso, a sub-base é uma excelente alternativa, já que seu custo é menor que o da base (BALDO, 2011).

As bases podem ser formadas por solo fortificado por ação da natureza somente ou por solo fortificado quimicamente com ligante asfáltico ou mesmo concreto. Pode-se ainda utilizar brita graduada alterada com cimento, solo e brita, brita graduada, etc. Para as sub-bases são utilizados os mesmos materiais citados anteriormente. Porém, em casos do designo por solos fortificados quimicamente, o consumo de aglomerantes é menor (BALBO, 2011).

### **2.3 SUBLEITO**

No subleito, os esforços destinados a sua superfície são minimizados em sua profundidade. Por isso, necessita ter uma maior preocupação com as camadas acima, onde os esforços chegam com mais intensidade. Neste ponto, os materiais precisam ser consolidados e compactados (em caso de corte no trecho da estrada) ou materiais transportados e compactados (BALBO, 2011).

### **2.4 REFORÇO DO SUBLEITO**

O reforço do subleito tem por objetivo melhorar a resistência do solo quando se fizer necessário ( $CBR < 2\%$ ). Ele é realizado através de solo oriundo de áreas de jazidas ou áreas de empréstimos, sendo que, a qualidade deste solo obrigatoriamente deve ser superior a do solo a ser reforçado. Contudo, mesmo que sua utilização não seja necessária em algumas circunstâncias, busca-se utilizá-lo a fim de minimizar os gastos em camadas superiores, já que em tese, estas poderiam aliviar as tensões se projetadas em camadas mais espessas. Porém, como o custo empregado nessas camadas excede ao custo associado ao subleito, a escolha mais assertiva é pelo reforço do subleito (BALBO, 2011).

### **2.5 REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO**

Segundo Marques (2006), a regularização do subleito tem o intuito de nivelar o leito, transversal e longitudinalmente. Essa prática pode ou não ocorrer, sendo sua execução dependente das condições do leito. Compreende cortes ou aterros até 20 cm de espessura.

### **2.6 IMPRIMAÇÃO ENTRE CAMADA**

Fundamenta-se na aplicação de uma película envolvendo material ligante asfáltico sobre a superfície de base antes da execução do revestimento para melhor aderência entre as camadas. Desse modo, eleva-se a coesão superficial. É habitual empregar CM-30 no processo, sendo este uma pintura asfáltica que trabalha como ligante ou então uma emulsão asfáltica. Para lograr êxito na definição da proporção asfáltica, o percentual de imprimação é variado experimentalmente no canteiro de obras (DER-SP, 2011).

A relação entre temperatura e viscosidade é primordial na atividade, uma vez que a temperatura de aplicabilidade do material asfáltico oscila de acordo com o tipo de ligante escolhido. Assim, deve-se empregar uma temperatura que propicie uma perfeita viscosidade no seu espalhamento. Posteriormente, aplica-se o material asfáltico na temperatura característica e adequada conforme seu tipo de material em quantidade estipulada em projeto e se necessário, convencionam-se experimentalmente no canteiro de obras (DER-SP, 2011).

Conforme Silva (2008), em emulsões alteradas por polímeros, a temperatura não pode exceder 60 °C, visto que o material polimérico pode sofrer danos. O ligante deve ser distribuído de uma só vez em toda extensão da área a ser tratada. Na aplicação, deve-se evitar tanto o excesso de ligante asfáltico como sua escassez. Caso seja cometido falha na quantidade, a mesma precisa ser corrigida imediatamente.

No meio de qualquer camada de revestimento asfáltico, continuamente é realizada a aplicação de uma pintura de ligação. As pinturas de ligação são efetuadas utilizando emulsões asfálticas e imprimações impermeabilizantes, com asfaltos diluídos (BALBO, 2011).

A emulsão asfáltica é a combinação de CAP (cimento asfáltico de petróleo) com agente emulsificante e água. Essa emulsão mais especificamente, compreende-se em pequenos glóbulos de CAP. suspensos em água em detrimento dos agentes emulsificantes. Antes da segregação (ruptura do CAP da água) a emulsão asfáltica possui coloração marrom; já posterior à segregação, sua coloração se apresenta na cor preta (BALBO, 2011).

### **3. DEFEITO DE SUPERFÍCIE**

No Brasil, a pavimentação é predominantemente feita por material asfáltico derivado de misturas complexas de hidrocarbonetos, originando os pavimentos flexíveis que estão em 99 % das estradas pavimentadas do país. Esses pavimentos são feitos para durar de 8 a 12 anos (CNT, 2017). Porém, em relatório realizado pelo TCU (Tribunal de Contas da União) em 2013, foi afirmado que, em alguns casos, patologias começam a surgir nesse tipo de pavimento antes mesmo de completarem um ano de vida útil (TCU, 2014). É alarmante a situação, uma vez que 60 % do transporte de cargas e 90 % do transporte de passageiros se dão por vias terrestres (CNT, 2017).

O pavimento flexível comumente é composto de camadas, sendo estas o subleito, a regularização do subleito, reforço do subleito (quando CBR < 2%), sub-base, base e camada de revestimento que, sobrepostas, estruturam a superfície do solo a fim de dar segurança e conforto a quem trafega. Quando essas camadas se comportam diferente do proposto apresentando defeitos, surgem as patologias. Essas têm nomenclatura normatizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, segundo a norma DNIT 005/2003 – TER (BRASIL, 2003). A caracterização dos defeitos no pavimento presume a importância de se estimar o estado de preservação e indicar soluções adequadas para restauração.

São muitas as patologias que podem surgir nos pavimentos flexíveis. Exemplos são as corrugações, afundamentos, exsudações, fendas, desagregações, painéis e remendos. Uma das mais recorrentes são as fendas, caracterizadas por aberturas quando há ruptura da estrutura por fadiga ao ocorrer repetidos esforços de tração por flexão no pavimento. Embora pouco citado, existe também o surgimento de fendas induzidas termicamente quando o pavimento flexível se localiza em lugares de clima frio ou que possuem arrefecimento abruptos. Em todos os casos, as fendas são sinais prévios de perda de qualidade da estrutura do pavimento (FONTES, 2009).

#### **3.1 TIPOS DE FENDAS**

O fendilhamento pode ser caracterizado de duas formas: fissuras ou trincas. As fissuras são aberturas menores e perceptíveis apenas quando o observador se dispõe a menos de 1,5 metro de distância. As trincas possuem abertura maior que as fissuras. As fendas podem se apresentar isoladamente ou interligadas constituídas em forma de malhas mais ou menos concentradas (BERNUCCI; MOTTA; CERATTI; SOARES, 2008).

Conforme a Norma DNIT 2004, as fendas quando isoladas são identificadas como:

- Trincas transversais curtas (TTC): possuem direção ortogonal ao eixo da estrada e tem extensão máxima de 1 metro;
- Trincas transversais longas (TTL): também possuem direção ortogonal ao eixo da estrada e sua extensão é superior à 1 metro;
- Trincas longitudinais curtas (TLC): erro construtivo na temperatura de compactação ou erro de quantidade de material ofertado ocasionando enfraquecimento o ligante asfáltico;
- Trincas longitudinais longas (TLL): recalques diferenciais advindos de falhas na execução. Podem surgir junto às trilhas de rodas ocasionadas pelo desgaste do pavimento devido ao tráfego excessivo de veículos ou ainda, como defeitos das juntas longitudinais de frentes de compactação distintas gerando enfraquecimento do ligante asfáltico;
- Trinca de retração (TRR): não é ocasionada por fadiga, é decorrente da retração térmica ou por seu material base já ser trincado.

As fendas interligadas são divididas em:

- Trincas de bloco (TB): conjunto de trincas ligadas entre si com formato geométricas regulares provindas de reflexão das trincas de solo-cimento da base;
- Trincas de bloco com erosão (TBE): conjunto de trincas ligadas entre si com formato geométricas regulares provindas de reflexão das trincas de solo-cimento da base, porém com erosão junto às arestas;
- Trincas tipo couro de jacaré (J): trincas que não possuem direções definidas assemelhando-se ao coro de jacaré, geralmente são causadas por colapso da capa asfáltico devido ao excesso de carga, má qualidade de material empregado na estrutura ou uma das camadas do pavimento, dimensionamento incorreto, envelhecimento ou baixa capacidade de resistência do solo;
- Trincas tipo couro de jacaré com erosão (JE): possuem as mesmas características das trincas de jacaré normais (J), porém com erosão junto às bordas.

As fendas ainda podem ser classificadas por classe de gravidade, sendo:

- Classe 1: fendas com seção até 1 mm;
- Classe 2: fendas com seção superior a 1 mm;
- Classe 3: fendas com seção superior a 1 mm e desagregação ou erosão junto às bordas.

Anexas ao presente trabalho estão presentes imagens representativas de defeitos em pavimentos flexíveis, sendo:

- **ANEXO A** - trinca isolada transversal;
- **ANEXO B** - trinca isolada longitudinal;
- **ANEXO C** - trinca isolada de retração;
- **ANEXO D** - trinca interligada tipo bloco;
- **ANEXO E** - trinca interligada tipo couro de jacaré.

Contudo, vale ressaltar que o fendilhamento em pavimento flexível é uma patologia tanto evitável quanto tratável e, para sua melhor identificação, muitos estudos sobre fendas têm sido realizados com o auxílio de softwares que são capazes de estabelecer parâmetros como, por exemplo, as propriedades viscoelásticas do asfalto e determinar com melhor precisão a detecção e possíveis causas das fendas (BESKOU, 2016; HASNI, 2017; SABOO, 2016; ZBICIAKA, 2016).

#### **4. TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM FENDILHAMENTO**

Um pavimento ao se aproximar do fim de sua vida útil carece de manutenções e reparos com mais frequência. O ideal é realizar diagnósticos por meio de estudos precedidos de avaliação funcional e estrutural do pavimento a fim de caracterizar patologias com precisão para então adotar procedimentos mais adequados de reparos, manutenções e restaurações dos pavimentos asfálticos. Dessa forma, ao estabelecer a patologia incidente no pavimento e suas possíveis causas, medidas e soluções tecnológicas são estudadas e aplicadas seguindo critérios de projeto e econômicos. Algumas considerações importantes a serem feitas de acordo com a funcionalidade do pavimento são: deformações definitivas, irregularidades longitudinais e área trincada observando seu grau de abertura. Já ao analisar estruturalmente, parâmetros como deflexão na superfície e a bacia de deformação são dados significativos. A avaliação da superfície do pavimento é normatizada pelo DNIT (Norma: DNIT 005/2003 TER Defeitos nos pavimentos asfálticos – Terminologia) (BRASIL, 2003).

A atuação com manutenção nos pavimentos asfálticos baseia-se comumente na operação de remendos, aplicação de capas selantes e selagem de trincas. O reconhecimento de patologias e reparos ainda na fase inicial de sua incidência acarreta em benefícios devido à eficiência dos serviços de manutenção, uma vez que cessam a continuidade dos defeitos e consequentemente o aumento de gastos com operação de veículos, custos com manutenção e reabilitação do pavimento, conforme ODA (2003).

Quando ocorre a presença de fendilhamento no pavimento flexível, o modo de recuperação se dá por meio de técnicas de capas selantes, microrrevestimento asfáltico, lama asfáltica ou tratamento superficial. De acordo com Yoshizane (2005,) a aplicação de capa selante é definida como atividade que se limita apenas à aplicação de ligante asfáltico ou ligante com agregados na superfície do pavimento com o desígnio de melhorar o revestimento asfáltico, selar trincas com abertura pequena, restabelecer o coeficiente de atrito pneu-pavimento, retardar o desgaste causado por intemperismo e evitar a entrada de água na estrutura do pavimento. A aplicação de capa selante está ilustrada na Figura 2.

**FIGURA 2** – Aplicação de capa selante no pavimento.



Fonte: BIOVIA, data não especificada.

A aplicação de microrrevestimento asfáltico consiste em uma técnica que faz uso de emulsões asfálticas alteradas com polímero visando o prolongamento de sua vida útil, sendo considerada uma melhoria da lama asfáltica. Apresenta-se como uma mistura a frio processada em usina móvel especial incluindo fíler, agregados minerais, emulsão com polímero, água e casualmente adição de fibras (ABNT NBR 14948/2003), de acordo com BERNUCCI (2008). Esse procedimento de reparo está ilustrado na Figura 3.

**FIGURA 3** – Aplicação de microrrevestimento no pavimento.



Fonte: Vinicius D' Amato Vaz (WEB ARTIGOS), 2014.

Conforme apresentado na Figura 4, a aplicação da lama asfáltica pode ser realizada em revestimentos que apresentem deterioração superficial ou grau de trincas pequeno. Atua como elemento rejuvenescedor e impermeabilizante quando se trata da funcionalidade do pavimento.

**FIGURA 4** – Aplicação de lama asfáltica no pavimento.



Fonte: Termax Terraplenagem e Pavimentação Ltda, 2015.

Sobre o tratamento superficial, representado na Figura 5, o mesmo se resume na aplicação de agregados e ligantes asfálticos sem que ocorra mistura prévia diretamente na pista, com posterior compactação que proporciona a adesão entre ligantes e agregados e o recobrimento parcial do pavimento. Há três tipos de tratamento superficial, são eles:

- Tratamento superficial simples (TSS): inserção de ligante asfáltico no pavimento incluindo uma cobertura com camada de agregados miúdos.
- Tratamento superficial duplo (TSD): inserção de ligante asfáltico em etapas distintas, sendo uma com agregado graúdo e outra com agregado miúdo.
- Tratamento superficial triplo (TST): inserção de ligante asfáltico em três etapas, sendo uma com agregado graúdo, uma com agregado médio e por fim, uma com agregado miúdo.



**FIGURA 5** – Tratamento superficial utilizado na área urbana.



**Fonte:** Juliano Gewehr (BLOGGER), 2018.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, inúmeras patologias são percebidas em pavimentos flexíveis, dentre às quais destaca-se o fendilhamento. O surgimento constante desse tipo de anomalia no pavimento é acarretado por fatores econômicos (falta de investimento em manutenções), climáticos ou até mesmo por falha na dosagem de seus componentes. Ações preventivas deveriam ser comumente utilizadas a fim de se evitar maiores danos ao pavimento, até porque, reduziriam significativamente o valor gasto em reparos e manutenções nas estradas quando realizadas.

Conforme descrito no presente trabalho, é evidente a necessidade de explorar as patologias nos pavimentos flexíveis ainda em seu surgimento, atentando-se para suas características funcionais e estruturais. Dessa forma, torna-se possível empregar técnicas mais acessíveis e com tempo de recuperação reduzido, o que conseqüentemente, aumenta a vida útil do pavimento.

Ao analisar as possibilidades de ocorrência das fendas nos pavimentos flexíveis, assim como as técnicas de recuperação no mesmo, é aconselhável a adoção de camadas de reforço com espessura maior na etapa de execução. Caso sejam inviáveis, pode-se optar pelo aumento da resistência do pavimento com adição de fibras, aplicação de “camadas de interface” para absorção das tensões entre as fendas e a camada de reforço, aplicação de betumes modificados (borracha de pneu, polímeros, etc.) ou então, membranas de reforço (fibras de vidro, polipropileno, poliéster, aço).

É válido ressaltar que os métodos de melhoramento do pavimento elencados acima não possuem restrição de uso, devendo, entretanto, ser introduzidos nas camadas estruturais de maneira a não prejudicar as demais que já são comumente usuais na execução dos pavimentos flexíveis. Embora os investimentos em pesquisa no país estejam deficitários, os estudos em novas tecnologias para aumento da resistência em pavimentos e posterior redução de patologias é crescente num contexto geral. É primordial a continuidade de estudos nesta área a fim de se reduzir gastos em execução, manutenções e restaurações em pavimentos, assim como, explorarem recursos menos danosos ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, Marli E.D.A.; LUDKE, Menga. **Pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas**. 1. ed. São Paulo: EPU, 1986.
- BALBO, J. T.. **Construção e Pavimentação**. São Paulo/SP, USP – Curso de Engenharia Civil, Notas de aula, Jun/2017, 21p.
- BALBO, J. T.. **Pavimentação Asfáltica**. 2. ed. Oficina de Textos, 2011.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.. **Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- BESKOU, N. D.; TSINOPOULOS, S. V.; HATZIGEORGIOU, G. D. **Fatigue cracking failure criterion for flexible pavements under moving vehicles**. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2016. v. 90, p. 476-479.
- BIOVIA. **Enzimas Biológicas para Pavimentação de Estradas à Força do Solo: Etapas da Execução/ Capa Selante**, data não especificada. Disponível em: <<https://biovia.com.br/etapas>>. Acesso em: 23 de set. de 2019.
- BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **DER-SP/2011 Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. São Paulo, 2011. 21 p.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 031/2004-ES – Pavimentos Flexíveis: Concreto Asfáltico**. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL, TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Relatório anual de gestão: 2013/ Tribunal de Contas da União**. – Brasília: TCU, Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2014. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br>>. Acesso em: 28 de mai. de 2019.
- CNT, **Brasil tem método antigo para dimensionar o pavimento**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2017. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 18 de mai. de 2019.
- FONTES, L. P. T. L. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. Universidade Federal de Santa Catarina. 545 p., 2009. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9601>>. Acesso em: 18 de mai. de 2019.
- GEWEHR, J. **Tratamento superficial e micropavimento**, 2018. Disponível em: <<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2018/11/tratamento-superficial-e-micropavimento.html>>. Acesso em: 01 de set. de 2019.
- HASNI, H. et al. **A self-powered surface sensing approach for detection of bottom-up**

**cracking in asphalt concrete pavements:** theoretical/numerical modeling. *Construction and Building Materials*, 2017. v. 144, p. 728-746.

MARQUES, G. B. **Análise de pavimento flexível: Estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-421.** Centro Universitário Univates: Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Curso de Engenharia Civil, 2014 Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/578/1/2014GabrieleBornMarques.pdf>>. Acesso em: 08 de mar. de 2019.

MARQUES, G. L. O. **Pavimentação.** Universidade Federal de Juiz de Fora/MG – Faculdade de Engenharia, Notas de Aula, 2006.

ODA, Sandra et al. **Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em PavimentosAsfálticos.** Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes, São Carlos, Brasil, 2003.

PEREIRA, M. **Adesividade entre o betume e os agregados.** Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfIMYAD/marinaldo-20dos-20anos-20pereira?part=5>>. Acesso em: 20 de ago. de 2019.

PINTO, J. I. B. R. **Caracterização superficial de pavimentos rodoviários.** 2003. Dissertação (Mestrado em Vias de Comunicação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003.

SABOO, N.; DAS, B. P.; KUMAR, P. **New phenomenological approach for modeling fatigue life of asphalt mixes.** *Construction and Building Materials*, 2016. v. 121, p. 134-142.

SCHIMIDT, M. **Estudo de patologias em pavimentos asfálticos na cidade de Santa Maria – RS:** 2016. Universidade Federal de Santa Maria: Curso de Tecnologia – Curso de Engenharia Civil. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1\\_2016/TCC\\_MELISSA%20SCHMIDT.pdf](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2016/TCC_MELISSA%20SCHMIDT.pdf)>. Acesso em: 08 de mar. de 2019.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

TERMAX. **Lama asfáltica – Condomínio PDG:** 2019. Disponível em: <<http://termaxpavimentacao.com.br/lama-asfaltica/lama-asfaltica-condominio-pdg/>>. Acesso em: 01 de set. de 2019.

VAZ, V. D. **Você conhece o microrrevestimento asfáltico?:** 2014. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/voce-conhece-o-microrrevestimento-asfaltico/125847/>>. Acesso em: 25 de set. de 2019.

YOSHIZANE, Prof. Hiroshi Paulo. **Defeitos, Manutenção e Reabilitação de PavimentoAsfáltico.** Universidade Estadual de Campinas, Centro Superior de Educação Tecnológica CESET, Limeira, 2005.

ZBICIAKA, A.; MICHALCZYK, R.; BRZEEZINSKI, K. **Evaluation of fatigue strength of pavement structure considering the effects of load velocity and temperature variations.** Procedia Engineering, 2016. v. 153, p. 895-902.

**ANEXO A — Trinca isolada transversal.**



**Fonte:** Norma DNIT 005/2003 - TER

**ANEXO B** — Trinca isolada longitudinal.



**Fonte:** Norma DNIT 005/2003 - TER

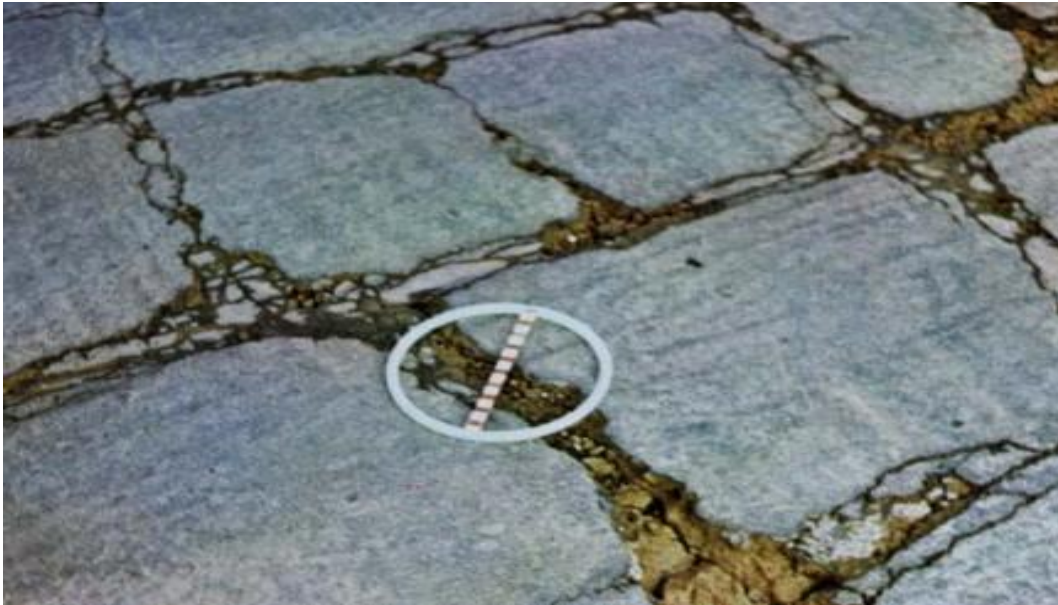
**ANEXO C — Trinca isolada de retração.**



**Fonte:** Norma DNIT 005/2003 - TER



**ANEXO D — Trinca interligada tipo bloco.**



**Fonte:** Norma DNIT 005/2003 - TER

**ANEXO E — Trinca interligada tipo couro de jacaré.**



**Fonte:** Norma DNIT 005/2003 - TER