

Pavimentação asfáltica: patologia, prevenção e manutenção

Asphalt pavement: pathology, prevention, and maintenance

João Victor Alves Correia¹**RESUMO**

O presente estudo teve como objetivo investigar várias patologias que impactaram o asfalto ao longo do tempo, destacando a necessidade de manutenção, e avaliar a relevância da restauração do asfalto. Os objetivos incluíram, inicialmente, a análise dos pavimentos, a investigação do seu comportamento mecânico e das principais patologias que os afetam; em seguida, a apresentação de conceitos sobre a recuperação de pavimentos flexíveis feitos de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e sobre o Tratamento Superficial Duplo (TSD); a investigação do comportamento e das condições de tráfego de um pavimento em processo de deformação; o estudo da medição do índice de qualidade e funcionalidade; e, por último, a apresentação de conclusões sobre as possíveis causas das patologias em pavimentos flexíveis fabricados a partir de concreto betuminoso usinado a quente, além de propor e descrever métodos de reparo.

A problemática surge ao reconhecer as manifestações patológicas documentadas na literatura, avaliar as causas em potencial e sugerir melhorias para a rede, seja através de manutenções corretivas ou reabilitações, de forma a satisfazer suas exigências com qualidade. Nesse cenário, questiona-se: é viável prolongar a vida de um pavimento, seja ele rígido ou flexível, por meio de manutenções corretivas? Quais intervenções podem aumentar seu tempo de uso? Para a realização deste trabalho, foram consultadas bibliografias técnicas e outros estudos acadêmicos que abordam a temática. É crucial contar com profissionais qualificados para atuar tanto na construção quanto na manutenção de rodovias, pois os desafios são significativos e envolvem projetos de grande escala com altos investimentos. Esta pesquisa contribui para a compreensão da importância do controle de qualidade em vias com pavimento asfáltico, buscando incentivar o interesse de novos engenheiros na área e, assim, promover o avanço de novas tecnologias.

Palavras-chave: Pavimento Asfáltico. Patologias. Recapeamento.**ABSTRACT**

This study aimed to investigate various forms of pavement distress that have affected asphalt over time—highlighting the need for maintenance—and to evaluate the importance of asphalt restoration. The objectives included: analyzing pavements and investigating their mechanical behavior and primary distress types; presenting concepts regarding the rehabilitation of flexible pavements made of Hot-Mix Asphalt (HMA) and Double Surface Treatment (DST); investigating the behavior and traffic conditions of a pavement undergoing deformation; studying the measurement of quality and functionality indices; and, finally, drawing conclusions about the potential causes of distress in HMA flexible pavements while proposing and describing repair methods. The issue at hand involves recognizing the distress manifestations documented in the literature, evaluating potential causes, and suggesting

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Cristo Rei (FACCRI), Cornélio Procópio – PR.

network improvements—whether through corrective maintenance or rehabilitation—to meet performance requirements effectively. In this context, the question arises: is it feasible to extend the service life of a pavement (whether rigid or flexible) through corrective maintenance? Which interventions can prolong its operational lifespan? Technical literature and other academic studies addressing the subject were consulted for this work. Relying on qualified professionals for both highway construction and maintenance is crucial, given the significant challenges and the large-scale, high-investment nature of these projects. This research contributes to an understanding of the importance of quality control for asphalt pavements, aiming to spark interest among new engineers in the field and thereby foster the advancement of new technologies.

Keywords: Asphalt pavement. Distress. Resurfacing.

1 INTRODUÇÃO

O aumento do tráfego de veículos de pequeno e grande porte no Brasil é crescente a cada ano, evidenciando a necessidade de crescimento da malha viária brasileira asfaltada bem como aprimoramento nos processos de restauração das vias. Dentro deste contexto, os estudos relacionados às obras de infraestrutura viária, sobretudo que envolvem pavimentação ao tema se tornam cada vez mais importantes tendo em vista o constante crescimento da malha viária e a necessidade de mão de obra qualificada no setor.

Levando em conta a logística e o custo para executar e manter vias pavimentadas, quais seriam as principais patologias encontradas na camada de pavimentação asfáltica e quais os métodos que podem ser utilizados para identificar e resolver tais patologias?

O presente trabalho irá abordar de forma sucinta, algumas patologias que o asfalto adquire após com o tempo, quando se faz necessário fazer manutenção ou implantação de uma rede subterrânea, e a importância da restauração asfáltica.

Tem como objetivo geral, analisar os fatores que reduzem a eficiência da pavimentação asfáltica, suas patologias, manutenção e intervenções para correção.

Dessa forma, o mesmo está estruturado da seguinte forma: Analisar os pavimentos, seu comportamento mecânico e suas principais patologias; Apresentar conceitos sobre recuperação de um pavimento flexível construído com Concreto CBUQ e o TSD; Investigar o comportamento e as condições de tráfego de um pavimento que esteja deformado; Estudar a medição de índice de qualidade e serventia; Expor conclusões sobre as possíveis causas das patologias em pavimentos flexíveis construídos a partir do concreto betuminoso usinado a quente, bem como reparos.

A problemática se dá ao identificar as manifestações patológicas presentes na literatura, analisando possíveis causas propor melhorias para a mesma, seja com manutenções

corretivas, recuperação, de forma que atenda às suas exigências com qualidade. Desta forma se indaga, é possível manter um pavimento sendo este rígido ou flexível por mais tempo por meio das manutenções corretivas? Quais suas intervenções para a vida útil?

O método utilizado para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, foi a revisão bibliográfica. Deste modo, foram utilizados artigos e trabalhos publicados principalmente nos últimos 23 anos. E os principais locais de busca usados foram dissertações, monografias, livros e sites como base de dados: *scielo*, *scholar*, etc.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A pavimentação asfáltica está constantemente submetida à ação do tráfego de veículos, às condições climáticas, à qualidade dos materiais utilizados e aos métodos empregados durante sua execução e manutenção. Esses fatores podem contribuir para o surgimento e agravamento de diversas manifestações patológicas, comprometendo a qualidade, a segurança, o conforto e a vida útil do pavimento.

Diante desse contexto, torna-se necessário compreender as principais patologias que afetam os pavimentos asfálticos, suas possíveis causas e as medidas de manutenção e recuperação capazes de minimizar seus efeitos.

Assim, este trabalho busca responder à seguinte questão: é possível prolongar a vida útil dos pavimentos asfálticos por meio da identificação adequada das patologias e da aplicação de medidas de manutenção e recuperação? Quais intervenções são mais adequadas para contribuir com a conservação e o desempenho dos pavimentos?

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Descrever os tipos de pavimentos, conceituação, características físicas e mecânicas associadas e as principais patologias, bem como técnicas de recuperação mais apropriadas a cada tipo de patologia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais patologias presentes nos pavimentos asfálticos e suas características;
- Analisar as possíveis causas relacionadas ao surgimento e agravamento das patologias;

- Apresentar os principais tipos de pavimentos e suas características estruturais e funcionais;
- Abordar os métodos de manutenção, conservação e recuperação de pavimentos asfálticos;
- Analisar a importância da manutenção preventiva e corretiva para o prolongamento da vida útil dos pavimentos;
- Apresentar métodos de recuperação, incluindo soluções aplicáveis a pavimentos revestidos com Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo (TSD);
- Demonstrar a importância da avaliação da serventia, qualidade e condições de tráfego para a definição das intervenções necessárias.

1.3 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema justifica-se pela importância da pavimentação asfáltica para a mobilidade e para o desenvolvimento econômico e social, uma vez que os pavimentos devem proporcionar condições adequadas de segurança, conforto e trafegabilidade aos usuários. O surgimento de patologias pode comprometer o desempenho dos pavimentos e, quando não identificado e tratado adequadamente, pode provocar a evolução dos danos e aumentar a necessidade de intervenções mais complexas e onerosas. Dessa forma, a identificação das manifestações patológicas, de suas possíveis causas e dos métodos adequados de manutenção e recuperação é fundamental para preservar as condições de uso da via.

Além disso, a manutenção preventiva e corretiva pode contribuir para a conservação da estrutura do pavimento e para o prolongamento de sua vida útil. O próprio trabalho destaca que a manutenção é necessária para preservar as características dos pavimentos e proporcionar conforto e segurança aos usuários, enquanto a recuperação busca restabelecer seu funcionamento e aumentar sua vida útil. Portanto, este estudo mostra-se relevante por reunir informações sobre patologias, manutenção e recuperação de pavimentos asfálticos, contribuindo para uma melhor compreensão dos procedimentos que podem ser utilizados para conservar essas estruturas e melhorar seu desempenho ao longo de sua vida útil.

2 PAVIMENTAÇÃO ASFÁTICA: CONCEITO

Pavimentar, segundo Balbo (2007), é a atividade de construção de estrutura que visa primordialmente à melhoria operacional para o tráfego, independente de sua natureza, na

medida em que é criada uma superfície mais regular e mais aderente, características que permitem, respectivamente, maior conforto no deslocamento e mais segurança em condições de pista úmida ou molhada.

Sabe-se que a principal função do pavimento asfáltico é possibilitar o tráfego seguro e aceitável dentro de seu ciclo de vida. Desta forma, o pavimento pode ser definido como uma superfície hábil de suportar o tráfego em condições de conforto e segurança. Na concepção de Pinto e Preussler (2002), é uma estrutura formada por uma ou mais camadas, com propriedades para receber cargas sobrepostas na superfície e distribuí-las de forma que as tensões resultantes estejam abaixo das tensões admissíveis dos materiais que estabelecem a estrutura.

Conforme, Balbo (2009) a pavimentação tem como finalidade, disponibilizar um tráfego adequado e preservado, com estruturas e materiais apropriados na sustentação e esforços resultantes do funcionamento do tráfego compatíveis com as condições climáticas, a um mínimo custo, analisando a possibilidade do aproveitamento de materiais locais para as obras, garantindo um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviços desta infraestrutura.

O pavimento é considerado estrutura complexa, cujo comportamento e desempenho, conforme menciona Yoshizane (2006) que há diversas variáveis que a abrangem como: cargas de tráfego, solicitações ambientais, técnicas construtivas, práticas de manutenção, reabilitação, tipo e qualidade dos materiais. São estruturas que, em geral, não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural, acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego.

Bernucci, *et al.* (2008) mencionam que a parcela estrutural é associada aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento. O pavimento é avaliado ainda por Bernucci *et al.* (2010), como uma estrutura estabelecida de camadas múltiplas e com espessura restrita, sobreposta à superfície compactada e terraplenada ligeiramente inferior, designada à resistência de esforços mecânicos resultantes do tráfego de veículos e das intempéries, com o desígnio de possibilitar aos usuários condições de segurança no ato de sua utilização.

Para o Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes (DNIT) (2006), os pavimentos são concebidos para que possam durar um longo período de tempo, porém não é o observado, quanto a sua vida útil e em que momento estes sofrem deformações podendo até a comprometer sua funcionalidade e interferir negativamente na mobilidade urbana.

A Pavimentação Asfáltica é uma forma de proporcionar um tráfego, tanto de pessoas como veículos, com maior comodidade e mais segurança (BERNUCCI, *et al.* 2008).

Desta forma, Bozza (1996) menciona que, a construção de uma rodovia/via urbana, requer alguns cuidados importantes como: uma boa planificação do terreno, a utilização de materiais de boa qualidade e na quantidade correta, evitando que a via deteriore com facilidade, o que pode acarretar danos desagradáveis aos que dela fazem uso.

No Brasil, a pavimentação e o domínio de conhecimento técnico têm significativa defasagem de emprego em relação aos países desenvolvidos. Apenas no ano de 1950, iniciou-se um vasto plano de pavimentação, inovador no Brasil, introduzindo a utilização da estabilização de solos com cimento e da estabilização granulométrica de materiais de construção viária, bem como o aproveitamento de solos granulares em pavimentos.

No final desta década, um fato de significativa importância foi a criação de uma comissão técnica especial dentro do âmbito do extinto DNER, que possibilitou o avanço das práticas e pesquisas tecnológicas concernentes à pavimentação de rodovias (Balbo, 2007).

2.1 PAVIMENTO

De acordo com Balbo (2007), o pavimento constitui-se como uma estrutura não permanente, formada por camadas superpostas de materiais distintos compactados, projetada para suportar, de modo estrutural e operacional, o tráfego, garantindo durabilidade com o menor custo possível e contemplando diferentes horizontes destinados às manutenções preventiva, corretiva e de reabilitação exigidas. Entende-se o pavimento como uma obra formada por várias camadas de espessuras limitadas, construída com critérios técnicos e econômicos sobre a cota final de terraplenagem, cuja função é resistir às cargas geradas pelo tráfego de veículos médios e pesados e oferecer aos usuários condições de rolamento ideais econômicas, seguras e confortáveis.

Nesse sentido, estruturalmente o pavimento deve receber, aliviar e transmitir esforços sobre as camadas inferiores, geralmente menos resistentes. Todas as peças componentes do pavimento devem trabalhar deformações compatíveis com a sua natureza e capacidade, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida dos materiais que constituem as camadas do pavimento. Balbo (2007).

De acordo com a ABNT NBR 7207, 09/2014, O pavimento é destinado econômica e simultaneamente em seu conjunto a:

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

2.2 ESTRUTURAS DO PAVIMENTO

As estruturas do pavimento, devem garantir conforto e segurança aos usuários, prezando pela máxima qualidade no serviço e baixo custo. É de suma importância a rodovia pavimentada, pois com ela é incrementado o progresso socioeconômico da região, podendo assim melhorar a qualidade de vida da população (SANTOS, 2017).

Portanto o desafio de projetar um pavimento consiste em criar uma obra de Engenharia que cumpra todas as condições estruturais e funcionais. Os problemas encontrados no Brasil, estão associados ao não atendimento das especificações técnicas da capacidade de suporte das camadas do pavimento e má qualidade dos materiais empregados no revestimento. Por isso, realizar manutenções periódicas é necessário para garantir a existência de um bom pavimento (CNT, 2019).

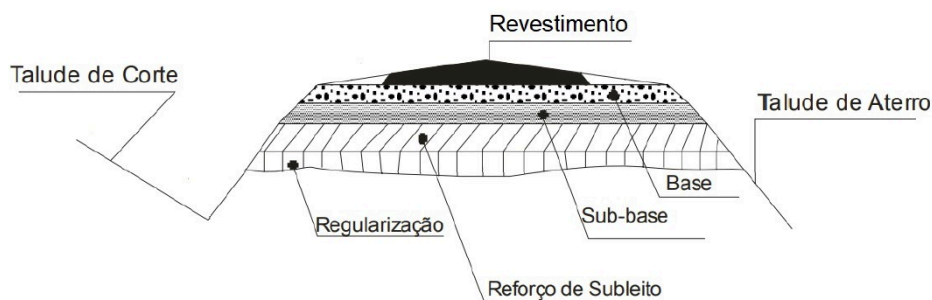
A estrutura do pavimento é responsável por receber e transmitir os esforços de forma que nas camadas inferiores ocorra um alívio de tensões (Figura 1). O perfeito funcionamento do pavimento se dá quando todas as peças trabalham as deformações compatíveis com sua natureza e capacidade de suporte, isto é, de modo que a estrutura não entre em colapso, sofrendo rupturas ou danificação prematura dos materiais constituintes do pavimento (BALBO, 2007).

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

Segundo Bernucci (2008), as estruturas de pavimentos são sistemas de camadas assentes sobre uma fundação chamada subleito, e que subdivide as estruturas de pavimentos em um extremo, têm-se as estruturas rígidas e, no outro, as flexíveis e o semirrígido, dos quais serão tratados no próximo tópico.

Sendo então, as camadas do pavimento são divididas em: subleito, sub-base, base e revestimento, essas camadas são firmes sobre o subleito o qual é considerado a fundação do pavimento. A Figura 1 explana essas camadas.

Figura 1 – Camadas do pavimento asfáltico



Fonte: Senço (2007).

Por meio da Figura 1, nota-se que o revestimento asfáltico, tem em sua camada superior encarregada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, melhorar a qualidade de rolamento.

Diante disto, sua estrutura se baseia na base, sub-base, reforço do subleito e revestimento asfáltico, conforme menciona Senço (2007) que a base é a camada sobre a qual se constrói o revestimento e é designada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos e distribuí-los adequadamente às camadas inferiores.

Para Preussler e Pinto (2002), a camada de revestimento consiste em uma mistura de agregados minerais e materiais betuminosos a qual é sobreposta à base. Conforme os autores, o revestimento deve ser projetado para resistir à abrasão referente ao tráfego, impedir a infiltração de água superficial no pavimento, ter uma superfície resistente e proporcionar um fluxo uniforme e suave na faixa de rolamento. Bernucci *et al.* (2008) ressaltam que, os pavimentos são constituídos de múltiplas camadas, assim, o revestimento é destinado a receber a carga proveniente do tráfego.

O revestimento de pavimentação com base em cimento asfáltico é o mais popular em todo o país, o aumento do tráfego acentua os problemas citados, exigindo estudo e desenvolvimento de materiais mais resistentes (BALBO, 2007).

Para Van, Thomas *et al.* (2015), muitos fatores influenciam na resistência do revestimento, entre eles os agregados, os ligantes e as misturas asfálticas entre outros.

Senço (2007) transcreve que a sub-base, é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização, e o reforço do subleito é uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas acima da regularização do subleito, cuja função é evitar espessuras elevadas da camada de sub-base devido à baixa capacidade de suporte do subleito.

Conforme, Balbo (2009) a pavimentação tem como finalidade, disponibilizar um tráfego adequado e preservado, com estruturas e materiais apropriados na sustentação e esforços resultantes do funcionamento do tráfego compatíveis com as condições climáticas, a um mínimo custo, analisando a possibilidade do aproveitamento de materiais locais para as obras, garantindo um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviços desta infraestrutura.

Para o DNIT:

“O Pavimento é uma superestrutura constituída por um princípio de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, infraestrutura ou terreno de fundação a qual é designada de subleito” (DNIT, 2006, p.95).

Segundo Senço (2007) pavimento é a estrutura formada sobre a terraplenagem e destinada, metodologicamente de maneira econômica, resistindo aos esforços verticais procedentes do tráfego, melhorando as condições de rolamento quanto à segurança, combatendo os desgastes, tornando constante a superfície de rolamento.

Com a finalidade de garantir conforto de locomoção para veículos, com uma aderência que promova segurança Balbo (2007) menciona que a pavimentação de uma via consiste no avanço de operações no tráfego, no qual é elaborada uma superfície mais regular, no caso da pista ser molhada; e que essa superfície possua menos ruídos frente à ação eficaz dos pneus, que tem finalidade garantir mais conforto do ambiente nas vias de zonas rurais e urbanas.

Desta forma, a principal função do pavimento é apresentar um tráfego com segurança e conforto, disponibilizando de materiais e componentes estruturais capazes de suportar os esforços produzidos pelo tráfego de veículos, Balbo (2007) expõe que o benefício e as condições do clima sejam adequados, de modo que as despesas operacionais e manutenção sejam pequenas e garantam um bom funcionamento.

Bernucci *et al.* (2008) ressaltam que a maioria dos pavimentos utilizados no Brasil consistem em uma mistura de agregados minerais, de diferentes granulometrias, com o ligante asfáltico, que será dosado proporcionalmente para assim garantir que o revestimento seja impermeável, flexível, estável, durável, resistente à derrapagem, resistente à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o tráfego na via e o clima na região.

2.3 PRINCIPAIS CARGAS NOS PAVIMENTOS

A forma de como as cargas procedentes do tráfego são conduzidas ao subleito é um fator de suma importância na caracterização dos pavimentos. Para Daibert (2015) os pavimentos podem divergir na quantidade de camadas e materiais empregados em sua

construção, na qual o resultado implicará em diferentes modos de como se dará a capacidade portante da estrutura do mesmo.

Para o conhecimento da metodologia de transmissão de esforços solicitantes aos pavimentos primeiramente, devem ser elencadas as principais solicitações envolvidas. Senço (2001) declara que as essenciais ações aplicadas que agirão em um pavimento se estabelecem em pressões de impacto, esforços tangenciais e longitudinais, esforços transversais e de sucção.

A pressão de impacto se caracteriza pela transmissão do peso do veículo ao pavimento. Quando o mesmo se encontra em movimento deve ser adicionada a contribuição referente ao esforço dinâmico, que eleva a pressão exercida sobre o pavimento. Segundo Oliveira (2000), quanto maior a velocidade do veículo, menores as tensões geradas, embora, tal fenômeno se estabilize em velocidades a partir de 60 km/h.

Conforme aponta Senço (2001), os esforços tangenciais atuam na superfície do pavimento, podem ser classificados em longitudinais quando se desenvolvem no plano das rodas ou transversais quando permanecem perpendiculares aos pneus e são causados pela força centrífuga quando o veículo trafega em trecho com curvas. Os esforços de sucção são caracterizados pela tendência de desprendimento do material da superfície da via causado pelo efeito de compressão dos pneus que gera um vácuo na região de interação.

Outros agentes causadores do aparecimento de tensões nos pavimentos podem ser enquadrados na categoria de ações indiretas, que são relativos a fenômenos físicos inerentes aos materiais empregados ou à geometria da estrutura concebida. As principais ações indiretas são a dilatação térmica, empenamento e retração (BALBO, 2015).

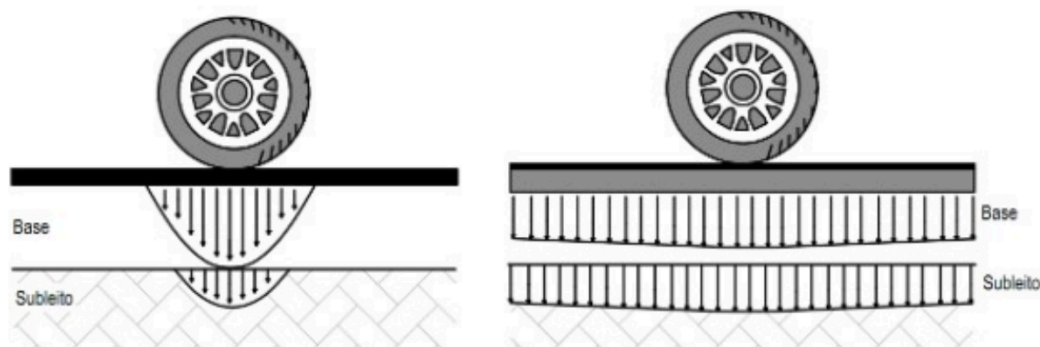
Bernucci *et al.* (2006) e Senço (2008) afirmam que, de forma geral, os pavimentos podem ser classificados tradicionalmente em flexíveis e rígidos.

O pavimento flexível define-se como aquele em que as deformações, dentro de um limite, não causam o rompimento da estrutura. Geralmente, seu dimensionamento é feito para esforços de compressão e de tração na flexão. Esses esforços são provocados pelo surgimento de bacias de deformação por onde passam as rodas dos veículos, causando na estrutura deformações permanentes e rompimento por fadiga (SENÇO, 2008). Neste tipo de pavimento, as cargas decorrentes do tráfego distribuem-se formando um campo de tensões concentrado próximo ao ponto de aplicação da carga (CNT, 2017).

O pavimento rígido define-se como uma estrutura pouco deformável, composta de concreto de cimento. Quando sujeita à deformação, a estrutura rompe por tração na flexão (SENÇO, 2008). Sendo assim, a espessura da mesma é calculada de acordo com a resistência

à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas inferiores (BERNUCCI *et al.*, 2006). As placas de concreto podem apresentar armadura de aço e são responsáveis por absorver praticamente todas as tensões oriundas do tráfego, distribuindo-as em uma grande área (CNT, 2017). A Figura 2 ilustra a distribuição de tensões de acordo com a classificação de pavimento.

Figura 2 – Distribuição de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos



Fonte: Adaptado de CNT (2017).

Diante da Figura 2, Senço (2008) afirma ainda que, a maior dificuldade de adotar essa classificação é a possibilidade de utilizar camadas flexíveis e rígidas em uma única estrutura de pavimento.

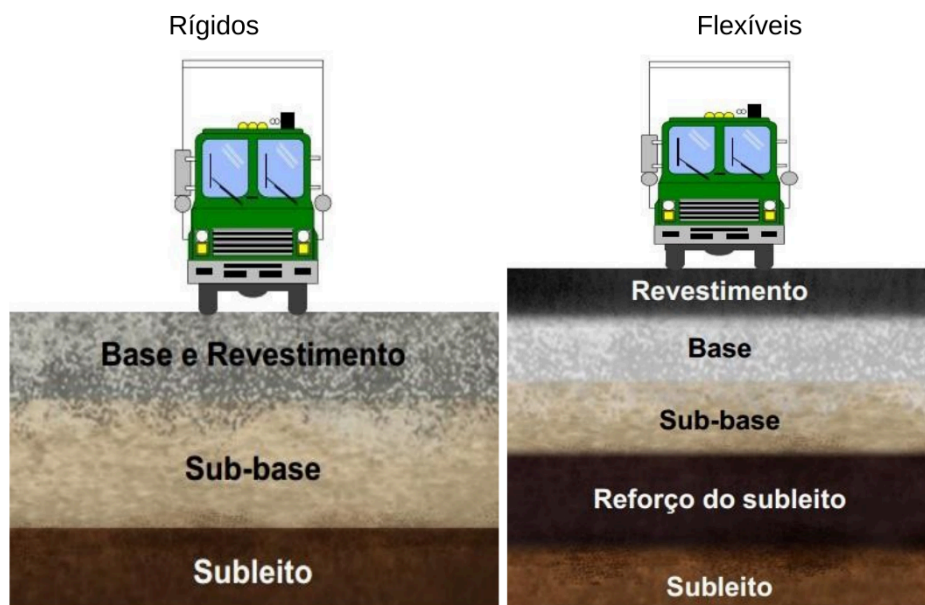
2.4 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS

Como já citado, os pavimentos são estruturas, nas quais camadas de diferentes materiais e resistências são colocadas em conjunto a fim de suportar aos esforços originados pelo tráfego. Dependendo da forma como ocorre tal transmissão pode se separar os pavimentos em rígidos ou flexíveis, e assim podem ser identificadas as principais especificidades no que concerne ao tipo e funcionamento das camadas que cada uma das alternativas apresenta.

Bernucci *et al.* (2010) transcrevem os tipos de pavimentos em: flexível o qual é composto por uma camada asfáltica com alicerce em brita, solo, e rígido, que é composto por chapas de cimento Portland, e o semirrígido que é composto por uma camada asfáltica e outra camada de cimento.

Bernucci *et al.* (2010) citam a diferença básica entre pavimentos rígidos e flexíveis, que está no estado em que as cargas são transferidas para as camadas baixas e quanto à seção transversal do pavimento, conforme exibido na Figura 3.

Figura 3 – Configuração do pavimento rígido e flexível



Fonte: Senço (2007)

Nota-se na Figura 3, que, o pavimento rígido se destaca por absorver grande parte dos esforços exercidos sobre o pavimento, desempenhando um papel de base e revestimento, enquanto no pavimento flexível uma parte destes esforços é transmitida às camadas baixas.

O pavimento flexível apresenta um maior número de camadas que o rígido, sendo estas: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. A camada do subleito, embora seja de extrema relevância na transmissão de cargas do pavimento, não é dimensionável.

Balbo (2007) relata que o pavimento precisa oferecer melhora funcional para o tráfego, sendo estabelecida uma superfície regular, aderente e menos ruidosa, assegurando assim, conforto no movimento do veículo, com segurança em estado de umidade e bem-estar tanto em vias urbanas e rurais.

Ainda segundo Balbo (2007), proporciona uma favorável condição de rolamento, automaticamente aos usuários, possibilitando uma expressiva diminuição nos custos operacionais, considerando que os custos de operação e conservação dos veículos são absolutamente ligados aos requisitos de superfície dos pavimentos.

Para a CNT é muito importante a realização da manutenção nas rodovias para melhoria no trânsito, bem como, reduzir gastos em reconstrução por falta de manutenção (CNT, 2017).

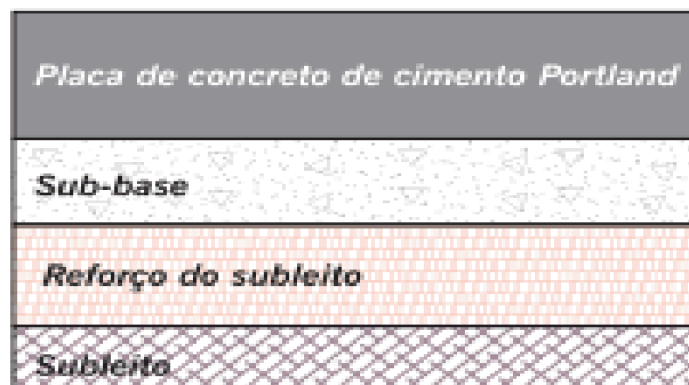
2.5 TIPOS DE PAVIMENTOS

Atualmente existem três tipos de pavimentos no manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT (2006). Classificam-se estes como: pavimento rígido, pavimento semirrígido e pavimento flexível.

2.5.1 Pavimento rígido

Trata-se de um tipo de pavimento em que a camada de revestimento possui rigidez muito superior à da camada subjacente, de modo a suportar diretamente as tensões decorrentes da carga aplicada. Esse sistema é típico do uso de concreto de cimento Portland, cuja estrutura é formada por uma camada superficial de concreto, podendo consistir em placas de concreto com ou sem armadura, apoiada sobre uma camada granular ou de material estabilizado com cimento, denominada sub-base, assentada sobre o subleito ou projetada para resistir ao esforço exigido do subleito. Um exemplo clássico é o pavimento composto por lajes de concreto de cimento Portland, conforme definido pelo DNIT (2006). Como podemos observar na Figura 4.

Figura 4 – Estrutura do pavimento rígido



Fonte: BERNUCCI (2010).

2.5.2 Pavimentos semirrígidos

O manual de pavimentação do DNIT (2006) define o pavimento semirrígido como composto por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, apresentando um grau de deformabilidade intermediário entre o pavimento rígido (menor) e o pavimento flexível (maior), tipicamente formado por uma base semiflexível (solo-cal, solo-cimento, etc.); um exemplo seria uma camada de solo-cimento coberta por uma camada asfáltica.

O pavimento semirrígido pode ser classificado como tipo direto, quando a camada de revestimento asfáltico é colocada diretamente sobre a camada de base cimentada, ou como tipo indireto (invertido), quando o revestimento é aplicado sobre uma base granular e a sub-base é a que apresenta cimentação (RAMOS, NAYARA, *et al.*, 2017).

2.6 PATOLOGIAS

As patologias sintetizadas como defeitos de superfície são lesões ou degradações na superfície dos pavimentos asfálticos visíveis a olho nu e passíveis de classificação segundo DNIT 005/2003.

As patologias que se manifestam no pavimento flexível e se enquadram como defeitos de superfície ocorrem quando há exposição do ligante, dos agregados ou o desprendimento destes, consistindo em degradações superficiais que, em geral, acontecem durante a execução do pavimento e, como consequência, alteram a composição granulométrica dos agregados, fazendo com que as misturas asfálticas produzidas em campo diverjam daquelas projetadas em laboratório.

Deformações que ocorrem devido à compactação complementar de camadas mal compactadas ou devido à ruptura por cisalhamento. Essas patologias podem ser classificadas como imperfeições funcionais que se referem à capacidade do pavimento de satisfazer as suas funções; isso é a determinação da capacidade do desempenho funcional momentâneo e da serventia que o pavimento proporciona aos usuários; além disso, podem configurar-se como imperfeições estruturais.

- **Trincas** — De acordo com o DNIT (005/2003), trincas são fendas no revestimento visíveis a olho nu, com abertura maior que a de fissuras; apresentam-se isoladas ou interligadas.

Figura 5 – trincas em pavimento asfáltico.



Fonte: DNIT (005/2003).

- **Trinca Transversal** — Segundo DNIT (005/2003) as trincas transversais são falhas isoladas com direção predominantemente perpendicular ao eixo da via. Quando têm extensão de até 100 cm são classificadas como trinca transversal curta e, se ultrapassarem 100 cm, recebem a classificação de trinca transversal longa. Na Figura 6 exemplifica-se uma trinca isolada transversal.

Figura 6 – Trinca Isolada Transversal



Fonte: DNIT (005/2003).

- **Trinca Longitudinal** — Conforme DNIT (005/2003), são trincas isoladas cuja orientação é majoritariamente paralela ao eixo da via, como mostrado na figura 7. Se a extensão atingir até 100 cm, chama-se trinca longitudinal curta e, quando for superior a 100 cm, classificam-se como trinca longitudinal longa.

Figura 7 – Trinca Isolada Longitudinal



Fonte: DNIT (005/2003).

- **Trinca conhecida como “couro de jacaré”** — conforme o DNIT 005/2003 trata-se de um conjunto de trincas interligadas sem orientação predominante, que lembra a textura do couro de jacaré. Essas fissuras podem ou não vir acompanhadas de erosão acentuada e de um estágio avançado de fadiga. Inicialmente aparecem isoladas e, com o avanço do tempo, conectam-se entre si até assumirem o aspecto característico de pele de crocodilo (SILVA, 2008). Exemplos desse tipo de trinca estão mostrados na imagem abaixo. Na Figura 8 pode-se ver um exemplo de trinca tipo couro de jacaré.

Figura 8 – Trinca tipo Couro de Jacaré



Fonte: (Bernucci, 2008).

- **Trincas tipo bloco** — são trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas (DNIT 005/2003). O aparecimento dessas trincas em blocos indica que o ligante asfáltico sofreu um considerável endurecimento, provocado pela oxidação ou pela perda de maltenos por volatilização, o que reduz sua flexibilidade. Esse padrão de fissuração resulta da retração do revestimento asfáltico associada às variações térmicas diárias (SILVA, 2008). Na Figura 9, apresenta-se um exemplo de trinca interligada do tipo “bloco”.

Figura 9 – Trinca interligada tipo “bloco”



Fonte: DNIT (005/2003).

- **Trincas por reflexão** — referem-se a fendas que surgem em decorrência de problemas na camada subjacente, como por exemplo fissuras na base que se manifestam no revestimento. Essas fendas estão também associadas à rigidez da camada sobre a qual o revestimento asfáltico foi aplicado. No caso dos paralelepípedos, que são elementos de alta rigidez, sua forma se reflete na camada de revestimento na forma de fissuras. Como esses materiais possuem uma superfície lisa, não oferecem adesão suficiente com a camada asfáltica, resultando em um desprendimento gradual desta da estrutura ao longo do tempo.

Figura 10 – Trincas de Reflexão



Fonte: Autor (2018)

2.7 PRINCIPAIS PATOLOGIAS DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Identificar os elementos que garantam uma boa qualidade do pavimento deve ser fundamental para sua manutenção e recuperação. Dessa forma, o objetivo primordial de qualquer intervenção voltada para um pavimento deve sempre ser analisado por profissionais qualificados em cada área específica.

As patologias são falhas que surgem ou se agravam em decorrência da intervenção humana e/ou de fatores naturais, ou ainda por um planejamento inadequado. Essas manifestações patológicas fazem com que o pavimento perca sua capacidade de proporcionar uma passagem confortável e segura nas estradas para as quais foram projetados (SCHMIDT, 2016).

Conforme a norma DNIT 005/2003 – TER e Flek (2017), as patologias são falhas, danos ou degradação no pavimento asfáltico, que podem ser observadas a olho nu e classificadas segundo uma codificação padrão. Esses defeitos podem afetar tanto a camada superior quanto a inferior, comprometendo toda a estrutura do pavimento.

Segundo Reis (2009), as patologias resultam da degradação dos materiais utilizados. Elas surgem devido a problemas como execuções inadequadas, tráfego excessivo ou projetos mal elaborados.

As patologias que podem aparecer na superfície asfáltica podem ser divididas em duas categorias: estruturais e funcionais. As estruturais estão relacionadas à diminuição da capacidade de carga do pavimento, o que implica na perda de sua integridade estrutural, ou seja, está ligada à aptidão do pavimento para desempenhar suas funções. Por outro lado, as patologias funcionais dizem respeito à segurança e à capacidade de tráfego, em termos de rolamento (ALVES *et al.* 2018).

Os defeitos de superfície referem-se a danos que se manifestam no pavimento flexível, como descontinuidades de superfície, deteriorações superficiais ou deformações visíveis a olho nu, que são classificados conforme a norma brasileira DNIT 005 (2003).

De acordo com Bernucci *et al.* (2010), a análise dos defeitos que se manifestam na superfície representa a informação mais significativa para a avaliação das condições de um pavimento. Esses defeitos podem surgir precocemente, devido a erros ou inadequações, ou se desenvolver a médio ou longo prazo devido ao tráfego e à ação das intempéries.

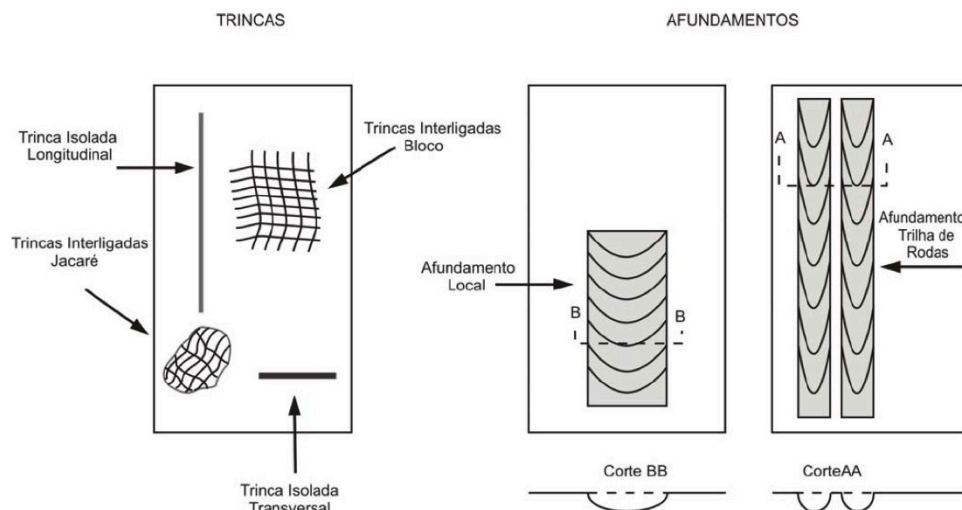
Os defeitos são categorizados em duas classes: Classe estrutural, que se relaciona com a diminuição da capacidade do pavimento para suportar cargas, e Classe funcional, que está relacionada com a qualidade da superfície para o tráfego e a segurança do pavimento.

2.7.1 Tipos de patologia nos pavimentos flexíveis

Segundo a regulamentação do DNIT 005 (BRASIL, 2003) os termos empregados em defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis e semirrígidos são caracterizados como: fendas; afundamentos; corrugação e ondulações transversais; exsudação; desgaste ou desagregação; panela ou buraco; e remendos.

Desta forma, as fendas são as discontinuidades na superfície do pavimento, que conduzem a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se de diversas formas conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 – Representação esquemática dos defeitos



Fonte: DNIT (2003).

Diante da Figura 11, pode-se notar que as fendas são a forma de degradação mais corriqueira e caracterizam-se por discontinuidades ou aberturas na superfície do pavimento e, dependendo da magnitude, as fendas podem ser subdivididas em fissuras e trincas. As fissuras são aberturas capilares, em qualquer direção, longitudinal, transversal ou oblíqua, que surgem devido à má dosagem do asfalto ou à compactação excessiva e geralmente não podem ser vistas a olho nu a uma distância maior que 1,50m. Já as trincas, apresentam dimensões superiores às das fissuras e, portanto, são visíveis a distâncias maiores do que 1,50m, subdividindo-se, de acordo com o DNIT (2003).

Já o afundamento, o qual segundo o DNIT (2003) se caracteriza por uma depressão na superfície do pavimento, o qual pode ser classificado em afundamento plástico e afundamento de consolidação. O afundamento plástico é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento, ou seja, compensação volumétrica lateral. Se sua extensão for menor do que 6m, é considerado um afundamento

plástico local, caso contrário é denominado afundamento plástico da trilha de roda. Já o afundamento de consolidação ocorre quando há uma consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito sem estar acompanhado de solevamento. Da mesma forma, quando ocorre em extensão de até 6m, é considerado um afundamento de consolidação local, quando a extensão for superior a 6m é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda.

Ainda segundo o DNIT (2003), ondulações ou corrugações são deformações transversais na superfície do pavimento com depressões intercaladas de elevações cujo comprimento de onda entre duas cristas pode variar desde alguns centímetros até metros. As principais causas das ondulações são a falta de estabilidade da mistura asfáltica e excessiva umidade do solo subleito (RIBEIRO, 2017).

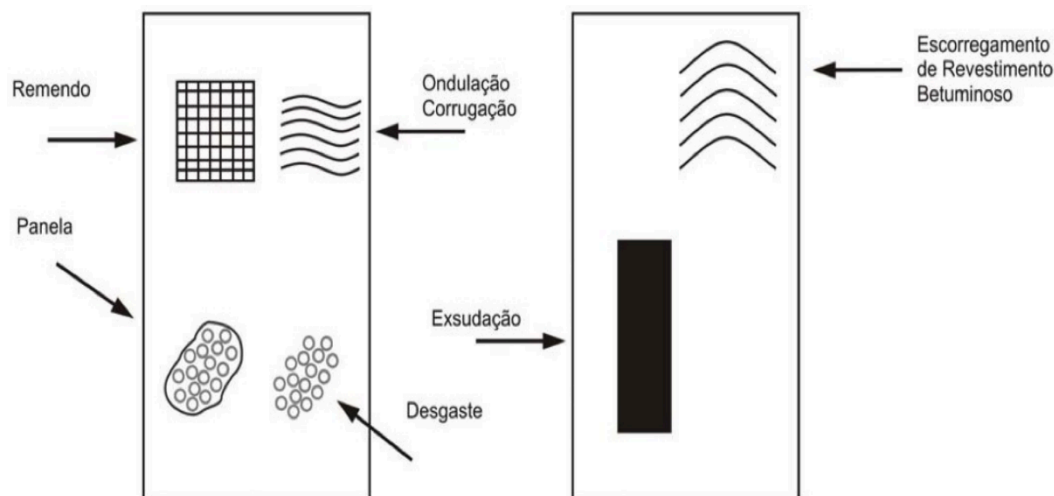
O escorregamento é um deslocamento do revestimento betuminoso em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua e estão associados à frenagem dos veículos.

A exsudação de asfalto ocorre quando há excessiva quantidade de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causada pela migração do ligante através do revestimento por conta da dilatação do asfalto no calor.

O desgaste é consequência do desprendimento do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

Panela ou buraco são cavidades que se formam no revestimento podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento e são consequência dos demais tipos patológicos. Já o remendo consiste no preenchimento de panelas com massa betuminosa. Vale ressaltar que apesar da operação de remendo estar relacionada a uma conservação da superfície ela também é considerada um defeito, pois indicam um local de fragilidade do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2006). Na Figura 5 estão representados de forma esquemática os defeitos conforme o DNIT (2003).

Figura 12 – Remendo, ondulação, desgaste e escorregamento



Fonte: DNIT (2003).

3 MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

A manutenção de pavimentos consiste em um conjunto de medidas destinadas a recompor a serventia do pavimento e a adaptar a rodovia às condições de tráfego atual e futuro, prolongando seu período de vida (DER/SP, 2006).

Fernandes, Oda e Zerbini (1999), decompõem as estratégias de intervenção em ações de manutenção corretiva, manutenção preventiva, ação postergada, reforço e reconstrução, onde a Manutenção Corretiva é feita por meio de remendos superficiais, reparos localizados, impermeabilização de trincas e outras ações de baixo custo unitário, a Manutenção preventiva se dá por meio das atividades de manutenção corretiva, rejuvenescimento da capa asfáltica e recapeamentos delgados, a Ação postergada é apenas a execução de remendos inadiáveis, o Reforço ocorre por meio das atividades de manutenção de rotina e preventiva, recapeamento estrutural e reciclagem e a Reconstrução é realizada com a remoção e substituição de toda a estrutura do pavimento, melhoria ou instalação de drenagem e melhoramento de traçado, de segurança e de capacidade de tráfego.

No quesito remendos, é preciso, pois repara certos tipos de defeitos em revestimentos asfálticos, sendo empregados por meio da colocação ou preenchimento com misturas betuminosas a quente ou a frio, em buracos produzidos naturalmente pela deterioração ou em escavações preparadas antecipadamente pelos trabalhadores, onde o remendo é finalizado pela compressão certa, selagem dos bordos e limpeza (DNIT, 2006).

Os reparos de panelas, é mencionado pelo DNIT (2006b), afetam diretamente a segurança do tráfego, o qual não sendo reparados, rapidamente conduzirão à ruína dos trechos adjacentes, vindo a comprometer ainda mais seriamente a rodovia.

Já para o trincamento de fadiga demandam melhoria estrutural, habitualmente através de camadas asfálticas adicionais, por meio do reforço ou recapeamento espesso, desta forma, a correção prévia destes locais pode ser chamada de “reconstrução localizada” (DNIT, 2006).

3.1 EXECUÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO

A depender do processo construtivo empregado na execução da pavimentação asfáltica, os agrupamentos de materiais betuminosos com os agregados podem ser feitos por penetração invertida, quando o revestimento é aplicado por uma ou mais aplicações do material betuminoso, ou por penetração direta, em que o revestimento é executado por meio do espalhamento e compactação das camadas de agregados.

De acordo com o DNIT (2005), os revestimentos betuminosos, ou revestimentos asfálticos, são constituídos por um agrupamento de materiais betuminosos e agregados de diferentes granulometrias, feito por duas maneiras distintas entre si: penetração e mistura. Salienta-se que quando a associação dos materiais betuminosos com os agregados é feita por penetração, esta pode ocorrer de forma direta ou invertida. No caso específico dos tratamentos superficiais, estes ocorrem por penetração invertida, conforme já esclarecido, constituindo-se em camadas simples (TSS), duplas (TSD) ou triplas (TST) (BALBO, 2007, p.189).

Quanto aos veículos a serem utilizados durante a execução da pavimentação, o Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER) (1997), estabelece que:

“Todo equipamento, antes do início da execução do serviço, deverá atender ao recomendado nesta Especificação, fator que condicionará a emissão da ordem de serviço. Os equipamentos requeridos são os seguintes: a) carros distribuidores de ligante betuminoso, providos de dispositivos de aquecimento, tacômetro, calibradores e termômetros com precisão de ± 1 °C, em locais de fácil acesso, e, ainda, de espargidor manual para o tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas. As barras de distribuição devem ser do tipo de circulação plena, com dispositivo que possibilite ajustamentos verticais e larguras variáveis de espalhamento do ligante e que permitam uma aplicação homogênea;

b) distribuidores de agregados, rebocáveis ou automotrizes, possuindo dispositivos que permitam um espalhamento homogêneo da quantidade de agregados, fixada no projeto; c) rolos compressores do tipo “Tandem” ou de preferência, pneumáticos, autopropulsores. Os rolos compressores devem ter uma carga superior a 25kg e inferior a 45kg por centímetro de largura de roda. Seu peso total não deverá ser superior a 10 toneladas. Os rolos pneumáticos, autopropulsores, deverão ser dotados de pneus que permitam a calibragem de 0,25 a 0,84 MPa (35 a 120 psi)” (DNER nº 309/1997, p.4 e p.5).

Conforme especificado por Balbo (2007, p.189), a execução da pavimentação asfáltica do tipo tratamento superficial consiste na aplicação do material asfáltico sobre a camada

superior do pavimento que está sendo executado, em que logo após este processo ocorre a distribuição de agregados sobre o material asfáltico, ocorrendo em seguida a compactação do pavimento. Assim, no caso do tratamento TSD, este processo é repetido por mais uma vez, razão pela qual é chamado de tratamento duplo. Cabe ressaltar que, quando se tratar de TSD ou TST, as camadas posteriores a esta primeira aplicação de agregados sobre o material asfáltico e após a compactação, devem ser executadas com agregados em dimensões maiores e na medida em que vão sendo feitas novas camadas, as dimensões dos agregados vão diminuindo.

De acordo com o DNER (nº 309/97, p.5 e p.6), antes de se iniciar a execução do pavimento do tipo TSD deve-se realizar uma varredura da pista imprimada ou com pintura de ligação a fim de eliminar quaisquer partículas de pó existentes, e após a varredura verifica a temperatura e a viscosidade do material asfáltico antes de empregá-lo, e para os casos em que seja necessária a utilização de melhorador de adesividade, o mesmo deverá ser misturado diretamente ao ligante betuminoso no próprio canteiro de obras, sendo que este ligante deve ser aplicado de uma só vez, não deixando que ocorra falta de ligante na pista ou exceda a quantidade que deverá ser aplicada, devendo também ter-se um certo cuidado com a execução das juntas transversais (início e fim do revestimento) e longitudinais (quando for aplicada em duas faixas).

Bem como ter o cuidado no momento da distribuição dos agregados, para que os excessos ou faltas de agregados sejam corrigidos antes da compressão, que deve ocorrer do bordo para o eixo do pavimento. Onde houver curvas, deve-se iniciar do bordo mais baixo indo em direção ao bordo mais alto e após a compressão, faz nova varredura, esta de leve, para retirar os agregados soltos.

Como se trata de TSD, este processo é repetido por mais uma vez e o tráfego somente pode ser liberado após o término da segunda compressão e de modo controlado.

Há uma taxa de imprimação do ligante em cada camada do tratamento superficial e, para execução de cada uma das camadas de tratamento superficial, deve-se esperar a completa fixação dos agregados, em que os mais indicados são os agregados cúbicos. A utilização de outros tipos de agregados pode causar patologias do tipo exsudação (patologia em que há o aparecimento do material betuminoso sem agregados na camada de rolamento). Após a espera da fixação dos agregados por meio do material asfáltico pode-se retirar do pavimento o material que possa vir a estar solto na via. Assim como nos demais tipos de pavimentos, podem vir a ocorrer defeitos de natureza construtiva e, para se evitar esses tipos de defeitos ou amenizá-los, é importante espalhar os agregados logo após a aplicação do material asfáltico,

pois quanto mais demorar para fazer essa distribuição dos agregados, mais chances são as de não ocorrer a fixação deles ao material asfáltico. É importante também que os bicos da espargidora de material asfáltico estejam em bom estado de funcionamento para que não ocorram estrias longitudinais no pavimento (BALBO, 2007, p.189).

Quanto à conservação dos pavimentos, o DNIT (2005, p.99 e p.100), discorre que ela é composta por um conjunto de operações, sejam elas rotineiras, periódicas ou de emergência, a fim de que se preservem os pavimentos, bem como suas características, haja vista que estes serviços de conservação dos pavimentos destinam-se a continuar proporcionando conforto e segurança a todos os usuários da via.

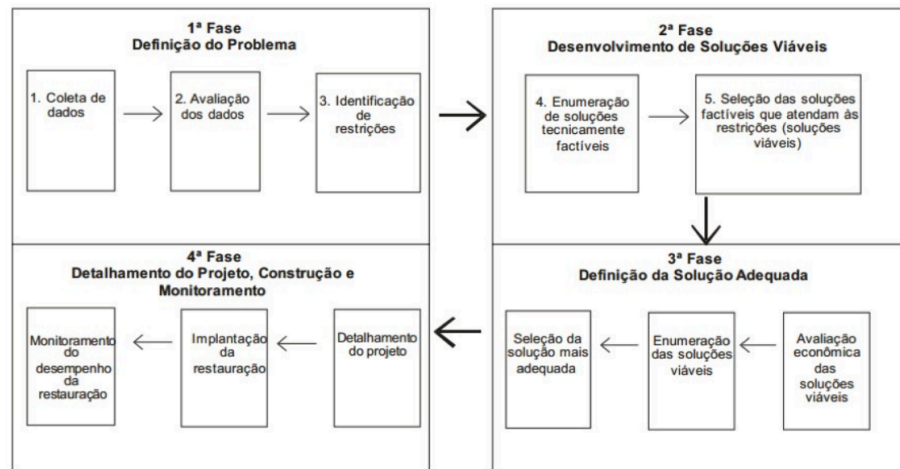
Quanto à recuperação, destaca-se que a mesma é constituída por um conjunto de operações com o objetivo de restabelecer o funcionamento do pavimento, para que este volte ao seu perfeito estado com boas qualidades de rolamento, fazendo com que o pavimento novamente se adapte às condições de tráfego e do clima, aumentando desta forma sua vida útil.

A recuperação dos pavimentos flexíveis é um meio de controlar as manifestações de patologias presentes no mesmo, diferindo conforme a tipologia do problema, as cargas atuantes e a resistência do solo.

Segundo o DNER (1996, p.45), para se realizar um projeto de restauração, deverá ser verificada a existência de alguns fatores que devido à falta de cuidados ambientais desde a concepção do projeto, produzem impactos negativos como: Erosões, inundações, assoreamentos e represamentos; Potencialização de endemias e proliferação de vetores nocivos; Conflitos com áreas urbanas e em interfaces com áreas a serem protegidas; Dificuldade ou impossibilidade de continuidade de exploração em pedreiras; Caracterização de pontos negros, dentre outros.

Segundo o DNIT (2006) o conceito mais apropriado para a restauração do pavimento é a identificação das soluções para o problema, com exposições dessas soluções que são tecnicamente factíveis na resolução do problema de deterioração dos pavimentos, como ilustra a Figura 6. Entretanto observaremos que as soluções possíveis são sujeitas às restrições do projeto e aquelas que atendem as restrições são consideradas viáveis para a restauração.

Figura 13 – Fluxograma das etapas do processo de restauração



Fonte: DNIT (2006).

Para Fernandes (2005, p.33) os fatores que interferem em um projeto de uma via são diversos, entre os quais se destacam: o número e a intensidade das cargas atuantes, os materiais constituintes das camadas, a natureza do solo de subleito, condições de drenagem e aspectos ambientais. Com o objetivo de se encontrar parâmetros da estrutura de uma via nos pontos mais críticos são realizados experimentos em escala real, onde as seções são devidamente estudadas.

As patologias em pavimentos são associadas a prováveis causas de seus aparecimentos, o importante é que seja feito um diagnóstico correto e adequado a cada tipo de situação, para que seja elaborado o mais eficiente tipo de restauração.

Segundo a Norma DNIT 031/2006-ES, Concreto Betuminoso Usinado a Quente, é uma mistura realizada a quente, em equipamento específico, denominado usina, composto por agregado graduado, brita, material de enchimento, filler, e cimento asfáltico petrolífero (CAP).

Este revestimento asfáltico é aplicado na pista de rolamento em alta temperatura e imediatamente compactado com equipamentos necessários. A sistemática da aplicação é dada da seguinte maneira, material ligante, aplicação e compactação do concreto betuminoso usinado a quente, deve-se tomar cuidado especial com a temperatura dos mesmos, pois há limites mínimos e máximos.

Desta forma, devido à facilidade de usina na região e por proporcionar rapidez e agilidade no processo de restauração, é importante ressaltar que toda a operação irá ocorrer com o tráfego operante.

4 SERVENTIA E QUALIDADE

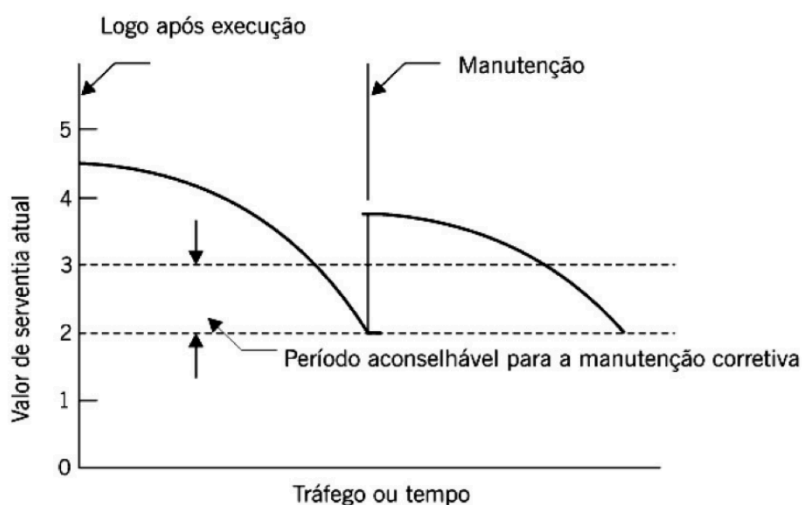
Quando se trata de manutenção, Silva (2008), cita dois tipos: preventiva, e corretiva. A avaliação funcional de um pavimento está relacionada com a capacidade de desempenho funcional momentânea que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. Uma das maiores dificuldades para se fazer um bom dimensionamento de um pavimento é a previsão do tráfego futuro e a avaliação das patologias causadas pelas diferentes cargas absorvidas por ele.

Portanto, serventia é definida como o grau com que o pavimento atende aos requisitos de conforto ao rolamento e segurança, nas condições operacionais da via em um determinado momento de sua vida de serviço (NAKAHARA, 2005).

O DNIT adota o valor de serventia atual (VSA), que consiste em um método de avaliação subjetiva, em que a atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento.

Desta forma, quando o desempenho dos pavimentos atinge o valor mínimo de qualidade, é preciso realizar uma atividade de manutenção preventiva e corretiva, com o intuito de aumentar o VSA, para que o pavimento tenha um prolongamento em sua vida útil. Na Figura 7, é possível ver o desempenho dos pavimentos.

Figura 14 – Período recomendado para a manutenção dos pavimentos



Fonte: Bernucci *et al.* (2006).

Diante da Figura 14, pode-se dizer que ela se atribui como limite de aceitabilidade a nota de 2,5 para vias de alto volume de tráfego e de 2,0 para as demais. Desta forma, sempre

que o VSA atingir esse patamar, deve-se optar pela intervenção da corretiva, com o intuito de repor o índice a um valor superior. Portanto, no período em que o pavimento VSA venha apresentar acima desse valor, é recomendado realizar a preventiva periódica com o intuito de prolongar o tempo que ele permanece nesta condição aceitável quanto ao rolamento (BERNUCCI, *et al.* 2006). Assim caso não ocorra a manutenção, ou seja, inadequada, o pavimento poderá atingir o limite de trafegabilidade, o qual precisará de sua reconstrução.

Bernucci, *et al.* (2006, p. 468), declaram ainda que, quando o revestimento estiver comprometido estruturalmente ou tiver uma previsão de aumento no tráfego, deve se dar preferência para alternativas que englobem um recapeamento da estrutura ou um tratamento de reforço às camadas já existentes. Contudo mesmo que o pavimento não apresente deformações significativas, é preciso que se faça a adoção de um reforço estrutural para que haja um nível mais significativo de segurança ao tráfego futuro (BRASIL, 2006, p.49).

Quando se tem uma superfície de boa aderência ao pneu do veículo, há uma redução considerável de gastos com as rodovias e consequentemente com os veículos. Deve-se ressaltar que todas as camadas do pavimento têm uma função específica e uma das maiores funções do pavimento é proporcionar um tráfego seguro, confortável e que suporte a combinação das condições climáticas com materiais que sejam capazes de suportar os esforços que decorrem do tráfego (BALBO, 2007, p.36).

Segundo Bernucci *et al.* (2006, p.157) no Brasil na maioria dos pavimentos é usado com CBUQ que pode variar quanto à fonte. Quando proporcionada e processada de forma adequada, garante à estrutura impermeabilidade, estabilidade, durabilidade, flexibilidade, resistência à derrapagem, à fadiga e ao trincamento térmico de acordo com o tráfego e o clima local.

A recuperação dos pavimentos flexíveis é um meio de controlar as manifestações de patologias presentes no mesmo, diferindo conforme a tipologia do problema, as cargas atuantes e a resistência do solo.

4.1 COMPORTAMENTO E CONDIÇÕES DE TRÁFEGO DE UM PAVIMENTO DEFORMADO

O defeito funcional é aquele que afeta as boas condições de rolamento do sistema viário, comprometendo o conforto do usuário e a segurança quanto à derrapagem (SOUZA, 2004).

É a determinação da capacidade de desempenho estrutural, que por sua vez é a habilidade do pavimento de manter sua integridade estrutural. A avaliação estrutural de

pavimentos consiste na análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento quando submetido a determinado carregamento (DERSP, 2006).

Assim, um retrato completo da condição estrutural de um pavimento deve ser composto pelos seguintes elementos conforme descreve Rodrigues (1991), especificadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Condição estrutural e sua aplicabilidade

Parâmetros	Aplicabilidade
Descrevam a deformabilidade elástica ou viscoelástica dos materiais das camadas, sob as condições de solicitação impostas pelas cargas transientes dos veículos	São utilizados para se calcular as tensões e deformações induzidas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento
Descrevam a resistência dos materiais ao acúmulo de deformações plásticas sob cargas repetidas	São função da natureza do material, de sua condição (densidade, umidade) e do histórico de solicitações.
Integridade das camadas asfálticas e cimentadas	expressa pelo grau de fissuramento
A condição estrutural	pode ser avaliada de duas formas complementares
Avaliação Destrutiva	Consiste da abertura de furos de sondagem para identificação da natureza e das espessuras das camadas do pavimento, bem como da abertura de poços de sondagem para coleta de amostras dos materiais que serão ensaiados em laboratório, onde abrangem desde aqueles convencionais para caracterização geotécnica até ensaios especiais, como os que permitem a medida do módulo de resiliência.
Avaliação Não Destrutiva	Consiste da realização de provas-de-carga para medida de parâmetros de resposta da estrutura às cargas de roda em movimento.

Fonte: Rodrigues (1991).

Uma condição estrutural inadequada ou uma capacidade estrutural insuficiente, para o tráfego atuante, acelerará a geração de defeitos de superfície (trincas de fadiga nas camadas asfálticas e cimentadas), bem como a queda do nível de serventia com o tempo (em decorrência da geração de afundamentos plásticos em trilha de roda e ondulações). Ao mesmo tempo, a existência de trincas no revestimento asfáltico permite a entrada de águas pluviais no

pavimento, gerando bombeamento de finos e enfraquecimento do solo de subleito, o que degrada a condição estrutural do pavimento, acelerando, por sua vez, a queda do nível de serventia e a própria deterioração superficial.

A condição estrutural de um pavimento indica, portanto, a velocidade com que a deterioração do pavimento está se processando, ou seja, a velocidade com que os defeitos estão surgindo e/ou aumentando de severidade. A época mais eficaz para se restaurar um pavimento é aquela imediatamente antes de a condição estrutural atingir um nível tal que a deterioração do pavimento passa a se processar a uma velocidade cada vez maior (RODRIGUES, 1991).

5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TSD

Segundo Bernucci *et al.* (2006, p. 191 e p.192), as principais funções do tratamento superficial, assim como constituem em algumas de suas vantagens, são: apesar de ser uma camada de rolamento pouco espessa, possui alta resistência ao desgaste proveniente do tráfego e do clima; impermeabiliza o pavimento e protege as demais camadas; propicia um revestimento que seja antiderrapante e com alta flexibilidade a fim de acompanhar as deformações que possam vir a ter no pavimento, dentre outras.

De acordo com Balbo (2007, p.15), quando se propicia uma boa qualidade ao rolamento da via, o que é proporcionado pelos revestimentos asfálticos que são empregados e pelas condições da superfície do pavimento, há uma consequente redução dos custos operacionais por parte dos usuários, haja vista que com o rolamento melhor, os usuários irão gastar menor quantidade de dinheiro em manutenção dos veículos, bem como poderão se deslocar com maior velocidade e chegar aos seus destinos com menor duração do tempo de viagem.

O TSD apresenta algumas desvantagens durante a sua execução, tais como: no momento da distribuição do material asfáltico, como está associada ao tipo de máquina utilizada, bem como das condições de temperatura a que o material asfáltico está submetido, pode ocasionar erro ao dimensionar o volume a ser despejado sobre o pavimento, e o mesmo também pode ocorrer com a distribuição dos agregados, o que se agrava mais quando o compartimento que mantém os agregados acondicionados durante a execução é pequeno, o que pode ser resolvido tendo, durante a execução, caminhões de reabastecimento em comboio, tudo a depender do tamanho do trecho que está sendo pavimentado.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A pesquisa bibliográfica segundo Marconi e Lakatos (2003), é toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema estudado, em forma de livros, revistas, monografias, teses, artigos, etc. A sua finalidade é fazer com que o pesquisador entre em contato direto com tudo o que foi escrito sobre determinado assunto, o auxiliando na obtenção de informações e na análise de suas pesquisas.

De acordo com Fachin (2006), estudo comparativo se desenvolve pela investigação de indivíduos, classes, fenômenos ou fatos, com vistas a ressaltar as diferenças e similaridades entre eles. Permite a análise de dados concretos e a dedução de semelhanças e divergências de elementos constantes, abstratos e gerais, propiciando investigações de caráter indireto.

Segundo Marques (2014), à medida que o pavimento é submetido a solicitações é frequente que as estruturas apresentem defeitos quando se aproximam do fim de sua vida útil. Essas patologias normalmente decorrem dos materiais empregados e do comportamento mecânico, este que, por sua vez, varia de uma estrutura para outra. Portanto, é fundamental que o engenheiro domine a dinâmica dos esforços atuantes no pavimento e compreenda como esses esforços influenciam o aparecimento de patologias, para que possa adotar procedimentos e tecnologias adequados em cada etapa de manutenção.

Fernandes Júnior (2010) relatam que o processo de deterioração do pavimento manifesta-se de maneiras diversas, entre as quais trincas (produzidas por fadiga, em blocos, nos bordos, longitudinais, por reflexão e transversais), remendos, panelas (ou buracos), distorções (resultantes do acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda e da corrugação), defeitos na superfície (que se expressam por desintegração ou desgaste, polimento de agregados e exsudação), desnível entre pista e acostamento e bombeamento (quando há saída de água pelas trincas do pavimento em função das ações de tráfego). Em razão disso, as metodologias de análise de pavimentos classificam-se em dois grandes grupos: avaliação funcional e avaliação estrutural.

Wirtgen (2011) ressalta que o método empregado para identificar os danos observados em um dado segmento deve permitir compreender a origem do defeito e o mecanismo que provocou sua ocorrência, de modo que sejam definidas as soluções de recuperação mais eficazes.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho, teve como intuito, analisar a pavimentação asfáltica, sua patologia, prevenção e manutenção, podendo chegar à conclusão de que os pavimentos muitas vezes, devido à falta de conservação apropriada que não recebem durante muitos anos, resulta, desse modo, em sua degradação precoce.

Desta forma, pode-se dizer que, ao ser liberado um pavimento para tráfego, o mesmo começa a se deteriorar por várias patologias, logo, se torna imprescindível a conservação deste com o intuito de prolongar a sua vida útil.

Foi visto, que quando houver a necessidade de fazer reparos, devem ser feitos imediatamente, para não se deteriorar, gerando uma condição perigosa para os motoristas.

É necessário, ter sempre a noção de realizar a manutenção ou conservação do pavimento, pois se torna mais rentável do que a reparação/reconstrução de pavimento, proporcionando assim, conforto e facilidade aos motoristas.

Dessa forma, ao estudar sobre as condições funcionais e estruturais do pavimento, comprovou a importância de dimensionar e optar impecavelmente as opções de pavimentação a serem aplicadas desde a sua implantação.

Assim, a pesquisa possibilitou analisar as patologias existentes em pavimentos flexíveis caracterizadas como defeitos funcionais e estruturais. Todavia existem outros fatores que podem impactar diretamente no surgimento desses defeitos, como por exemplo, os tipos de materiais utilizados e suas características intrínsecas, o processo construtivo e o projeto relacionado ao levantamento de tráfego.

No entanto, ao analisar a literatura, pode-se ver que os principais defeitos encontrados com maior frequência em um pavimento flexível, são as trincas e panelas, das quais, sugere-se como reparo para as trincas, o tratamento superficial, lama asfáltica (temporário) ou remendo (permanente). A recuperação de panelas, pode ser realizada através de remendos superficiais ou profundos.

Por fim, pode-se dizer que ao analisar a problemática identificando as manifestações patológicas e as possíveis causas, pode-se afirmar que a preservação, e manutenção corretiva, é relevante, uma vez que ela permite que reparos rápidos sejam realizados nas vias, fornecendo um bom pavimento com melhor desempenho, proporcionando segurança e conforto aos motoristas.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. T. de O.; FERNANDES, R. E. C.; BERTEQUINI, A. B. T. **Patologias em pavimento flexível**. 2018.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo, 2009.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. Oficina de Textos, 2015.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2006.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2008.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2010.

BOZZA, J. L. **Qualidade, construção, operação e manutenção de rodovias**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte rodoviário**: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? Brasília: CNT, 2017. 160 p. Disponível em: http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_pavimentos_nao_duram.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Conheça os 13 principais defeitos de pavimento das rodovias**. Brasília, DF: CNT, c2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitos-pavimento>. Acesso em: 19 ago. 2021.

DAIBERT, P. B. **Impacto econômico e assistencial das complicações relacionadas à internação hospitalar**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado em Infectologia e Medicina Tropical) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária 309/97**. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005/2003 – TER**: defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia. Rio de Janeiro, 2003a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 006/2003 – PRO**: avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento. Rio de Janeiro, 2003b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de conservação rodoviária**. 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Ministério dos Transportes: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006b. (Publicação IPR-720).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2008.

FERNANDES, G. **Comportamento de estruturas de pavimentos ferroviários com utilização de solos finos e/ou resíduos de mineração de ferro associados a geossintéticos**. 2005. 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

FLEK, C. M. Diagnóstico de patologias encontradas na rodovia BR-050 entre Araguari e Uberlândia. **Revista Constituinte**, 2017.

MARQUES, G. L. **Pavimentação**. Notas de aula, 2007.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

NAKAHARA, S. M. **Estudo do desempenho de reforços de pavimentos asfálticos em via urbana sujeita a tráfego comercial pesado**. 2005. 306 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária**: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002.

REIS, N. F. dos S. **Análise estrutural de pavimentos rodoviários**: aplicação a um pavimento reforçado com malha de aço. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

RIBEIRO, T. P. Estudo descritivo das principais patologias em pavimento flexível. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 2, ed. 4, v. 1, p. 733-754, jul. 2017.

RODRIGUES, R. M. **Estudo do trincamento dos pavimentos**. 1991. Tese (Doutorado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

SANTOS, C. R. dos. **Patologia em pavimentações**. São José do Rio Preto: Centro Universitário do Norte Paulista, 2017.

SCHMIDT, M. **Estudo de patologias em pavimentos asfálticos na cidade de Santa Maria – RS**. 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001. v. 2.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. v. 1.

SILVA, C. M. *et al.* A cidade convida para caminhar? Um estudo sobre a percepção de caminhabilidade no Distrito Federal. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 31., 2017, Recife. **Anais [...]**. Recife, 2017.

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

SOUZA, M. J. de. **Pavimentação rodoviária**. Rio de Janeiro: LTC, 1980.

SOUZA, M. J. de. **Patologia em pavimentos flexíveis**. São Paulo, 2004.

VAN DAM, T. J. *et al.* **Towards sustainable pavement system**. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2015.

YOSHIZANE, H. P. **Defeitos, manutenção e reabilitação de pavimento asfáltico**. Limeira: Universidade Estadual de Campinas, Centro Superior de Educação Tecnológica, 2005.
Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/157545132/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

ZERBINI, L. F. **Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.