



FACULDADE VALE DO AÇO – FAVALE
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS MARCELL LIMA OLIVEIRA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO ENTRE OS MUNICÍPIOS DE AÇAILÂNDIA E IMPERATRIZ – MA DA
BR 010 NO TRECHO KM 1406 ATÉ KM 1416.**

Açailândia

2022

LUCAS MARCELL LIMA OLIVEIRA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO ENTRE OS MUNICÍPIOS DE AÇAILÂNDIA E IMPERATRIZ – MA DA
BR 010 NO TRECHO KM 1406 ATÉ KM 1416.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil na
Faculdade Vale do Aço.

Orientador: Prof. Esp. Randal Silva
Gomes

Açailândia

2022

**Ficha catalográfica - Biblioteca José Amaro Logrado
Faculdade Vale do Aço**

O48I

Oliveira, Lucas Marcell Lima.

Levantamento de manifestações patológicas do pavimento asfáltico entre os municípios de Açailândia e Imperatriz – MA da BR 010 no trecho KM 1406 até KM 1416. / Lucas Marcell Lima Oliveira – Açailândia, 2022.

71 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Faculdade Vale do Aço, Açailândia, 2022.

Orientador: Prof. Esp. Randal Silva Gomes.

1. Pavimento. 2. Manifestações patológicas. 3. Rodovia. 4. Asfalto. I. Oliveira, Lucas Marcell Lima. II. Gomes, Randal Silva. (orientador). III. Título.

CDU 616:693.7(812.1)

LUCAS MARCELL LIMA OLIVEIRA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO ENTRE OS MUNICÍPIOS DE AÇAILÂNDIA E IMPERATRIZ – MA DA
BR 010 NO TRECHO KM 1406 ATÉ KM 1416.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil na
Faculdade Vale do Aço.

Aprovado em ____ / ____ /2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Randal Silva Gomes (Orientador)

Faculdade Vale do Aço – FAVALE

[...]

Faculdade Vale do Aço - FAVALE

[...]

Faculdade Vale do Aço - FAVALE

Aos meus pais, Eliane Campos e
Leondiniz Borges.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por estar sempre presente em minha vida e ao longo do curso me encorajando e dando forças.

À minha família, pois sempre estiveram prontos a me ajudar e incentivar nesta jornada incrível.

Em especial à minha mãe Eliane Campos Lima pelo apoio incondicional, pelo amor e por todas as dificuldades vencidas ao longo deste curso, que por muitas e muitas vezes abriu mão de seus objetivos e sonhos, que sempre acreditou em mim independente da circunstância.

À minha noiva Érika Duarte de Sousa, que por um longo tempo esteve presente nessa incrível jornada, obrigado pelo apoio e companheirismo.

Ao meu orientador, Prof. Randall Gomes por todo o seu empenho e me orientar e por sua disponibilidade ao longo desses meses, pois assim acredito que não teria a mesma qualidade.

Aos meus amigos e irmãos de graduação lutando todos unidos por um objetivo maior ao longo desta jornada.

E por final, não menos importante agradeço a todos que de maneira direta ou indireta torceram e me ajudaram na realização deste trabalho, o meu sincero: Muito Obrigado.

“Sonhos determinam o que você quer
ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

O estudo das patologias na pavimentação asfáltica é de grande importância para a busca de suas possíveis soluções e melhorias. Suas causas podem estar atreladas a diversos fatores naturais ou mecânicos. Desse modo, nota-se a importância que a pavimentação asfáltica exerce sobre o principal modal rodoviário do país, uma vez que as condições das vias afetam diretamente nos custos de transporte de mercadorias, conseqüentemente, afetando a economia também. Este trabalho apresenta um levantamento de manifestações patológicas do pavimento asfáltico entre os municípios de Açailândia e Imperatriz – MA da BR-010 no trecho Km 1406 até 1416, com o objetivo de identificar os tipos de manifestações existentes, suas possíveis causas e técnicas de recuperação das mesmas. Inicia com um estudo preliminar do local e por fim, apresenta os resultados obtidos, nos quais podemos citar, afundamentos, ondulações, desgaste, panela ou buraco e trincas, assim indicando métodos de recuperação

Palavras-chave: Pavimento. Manifestações Patológicas. Rodovia. Asfalto.

OLIVEIRA, L. M. L. SURVEY OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS OF THE ASPHALT PAVEMENT BETWEEN THE MUNICIPALITIES OF AÇAILÂNDIA AND IMPERATRIZ - MA DA BR 010 IN THE STRETCH KM 1406 TO KM 1416.
Project Course Conclusion (Bachelor of Engineering Civil). Valley of Steel School, Açailândia/MA.

ABSTRACT

The study of pathologies in asphalt paving is of great importance for the search for possible solutions and improvements. It's causes can be linked to several natural or mechanical factors. In this way, the importance that asphalt paving has on the main road modal in the country is noted, since the conditions of the roads directly affect the costs of transporting goods, consequently affecting the economy as well. This paper presents a survey of pathological manifestations of the asphalt pavement between the municipalities of Açailândia and Imperatriz - MA of the BR-010 in the stretch Km 1406 to 1416, with the objective of identifying the types of existing manifestations, their possible causes and techniques of recovery of the same. It starts with a preliminary study of the site and finally presents the results obtained for proper conclusions.

Keywords: Pavement. Pathological Manifestations. Highway. Asphalt.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Via Ápia é uma das estradas mais antigas de Roma.....	14
Figura 2 - Pavimentação nas Rodovias do Brasil em 2014.....	15
Figura 3 - Camadas do Pavimento.....	20
Figura 4 - Subproduto do Petróleo.....	23
Figura 5 - Pavimento Flexível.....	24
Figura 6 - Pavimento Rígido.....	25
Figura 7 - Pavimento Flexível (Corte Transversal).....	28
Figura 8 - Tipos de Materiais Usados Para Camadas Do Pavimento Flexível.....	29
Figura 9 - Forma de distribuição de cargas por tipo de pavimento.....	31
Figura 10 - Fenda em revestimento asfáltico.....	32
Figura 11 - Painelas ou buracos.....	33
Figura 12 - Desgaste de pavimento.....	34
Figura 13 - Ondulações ou corrugações em pavimento.....	35
Figura 14 - Recapeamento de pavimento.....	37
Figura 15 - Reconstrução de pavimento.....	38
Figura 16 - Remendo de pavimento.....	39
Figura 17 – BR-010 Km 1406 a 1416.....	40
Figura 18 - Afundamento plástico local encontrado na BR 010.....	43
Figura 19 - Ondulações encontradas na BR-010.....	43
Figura 20 - Desgaste encontrado na BR-010.....	44
Figura 21 - Formação de Painela ou Buraco.....	45
Figura 22 - Trincas encontradas na BR-010 Km 1406 a Km 1416.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C.	Antes de Cristo
ADEBA	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto
ADP	Asfaltos Diluídos de Petróleo
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CM	Cura Média
CR	Cura Rápida
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CPA	Camada Porosa de Atrito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Breve histórico da pavimentação	14
2.1.1 Conceito De Pavimento	16
2.1.2 Subleito	16
2.1.3. Regularização do Subleito	17
2.1.4 Reforço do Subleito	17
2.1.5 Sub-base	17
2.1.6 Base	18
2.1.7 Revestimento	18
2.2 Pavimentação asfáltica	21
2.3 Asfalto e pavimentos asfálticos	23
2.4 Pavimentos do ponto de vista estrutural e funcional	26
2.5 Pavimentos flexíveis	28
2.6 Pavimentos rígidos	30
2.7 Tipos de manifestações patológicas	32
2.7.1 Fendas	32
2.7.2 Panela ou Buraco	33
2.7.3 Desgaste	34
2.7.4 Ondulação ou corrugação	35
2.8 Manutenção e conservação dos pavimentos	35
2.8.1 Conservação Preventiva	36
2.8.2 Conservação Corretiva	36

2.8.3 Recuperação do pavimento.....	36
2.8.4 Recapeamento do pavimento.....	37
2.8.5 Reconstrução do pavimento	38
2.8.6 Reforço do pavimento.....	38
2.8.7 Remendo do pavimento.....	39
3 METODOLOGIA	40
4 RESULTADOS.....	42
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação asfáltica é um conjunto de estruturas de grande importância para o tráfego dos usuários das vias terrestres, cuja finalidade primordial é eliminar as cargas derivadas dos esforços do carregamento móvel (ARAÚJO, 2020). A pavimentação asfáltica é uma das formas de revestimento mais importantes das rodovias brasileiras, devido aos aspectos de longevidade e resistência. No entanto, ao longo do tempo as pavimentações podem apresentar patologias em razão de diversos fatores, tais como a execução da obra, os tipos de materiais empregados e até mesmo o desgaste sofrido pela utilização das vias (FRANÇA; FERNANDES, 2017).

No Brasil, o modal rodoviário é responsável por cerca de 60% da receita líquida operacional e 52,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do setor. Contudo, mesmo diante de tamanha importância para a economia brasileira, esse modal enfrenta grandes problemas como as más condições das vias, sistemas de pedágios em alguns locais, furtos e roubos de cargas, o valor dos combustíveis em constante oscilação (CRUZ et al, 2019).

Para ilustrar as dificuldades do modal rodoviário, o Boletim Estatístico divulgado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022), mostra que em 2021 a malha rodoviária federal pavimentada possuía 65.735 Km de extensão, enquanto a não pavimentada correspondia a 9.374 Km, totalizando 75.109. Quando se trata das rodovias estaduais transitória, estaduais e municipais, apenas 149.333 Km encontrava-se pavimentada e 1.340.726 Km não pavimentada. Esse fato chama atenção para as péssimas condições de tráfego das rodovias brasileiras.

Desse modo, nota-se a importância que a pavimentação asfáltica exerce sobre o principal modal rodoviário do país, uma vez que as condições das vias afetam diretamente nos custos de transporte de mercadorias, conseqüentemente, afetando a economia também. A justificativa para a realização deste estudo consiste na importância que essa rodovia possui para integração da região norte e nordeste do Brasil, principalmente para os estados do Para, Maranhão, Tocantins, Goiás, em que desempenha um papel no processo de urbanização desses locais, além de atender as demandas em relação ao mercado nacional.

O estudo buscou responder ao seguinte questionamento: quais as principais patologias presentes no trecho entre as cidades de Imperatriz e Açailândia no

estado do Maranhão nos seguintes Km 1406 a 1416 da BR-010 de acordo com a literatura? Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica, qualitativa, de natureza básica. A busca pelo material foi feita nas bases de dados *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações), Google Acadêmico, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Academic One File e Wiley Online Library.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é realizar um levantamento das principais patologias encontradas na BR-010 no trecho compreendido entre os Km 1406 a 1416.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar visivelmente os tipos de manifestações patológicas existentes no trecho de dez quilômetros estudado;
- Identificar as possíveis causas para o surgimento das manifestações patológicas existentes no trecho;
- Recomendar possíveis técnicas de recuperação e soluções para reparação do rolamento asfáltico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve histórico da pavimentação

A história da pavimentação é tão antiga que há bastante divergência sobre quando e onde se iniciou, alguns estudiosos apresentam pesquisas que mostram que a pavimentação estava presente antes de Cristo (A.C), outros estudiosos apresentam histórias onde os incas foram responsáveis pela criação da pavimentação por volta do ano 1400. Como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Via Ápia é uma das estradas mais antigas de Roma

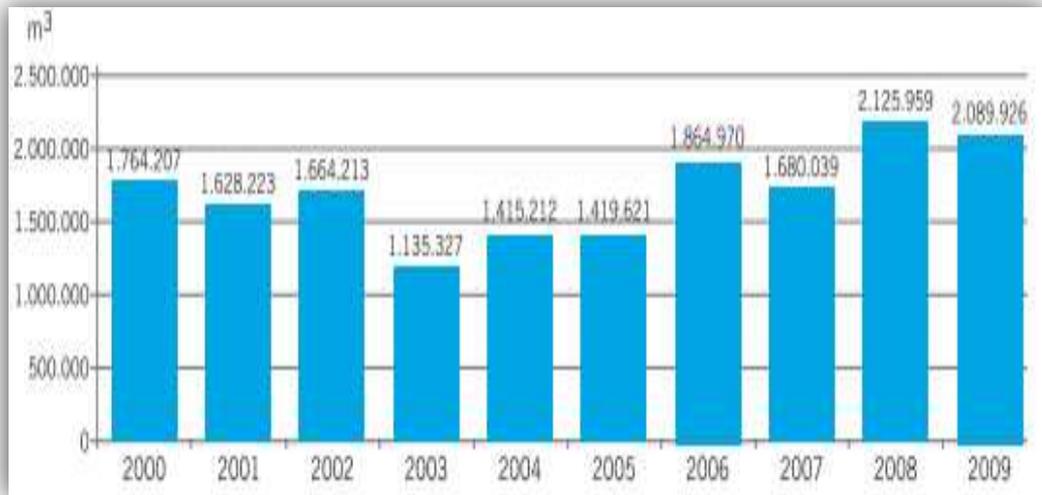


Fonte: ROMESITE (2015).

Os estudos relacionados a melhoria desse produto/serviço têm ganhado força devido a necessidade de se obter melhores eficiências e menores custos de construção e manutenção, junto a isso fornecer melhor conforto e segurança para seus usuários.

A crescente necessidade de pavimentar estradas para facilitar a locomoção de pessoas e de cargas faz com que conseqüentemente aumente o consumo de materiais para a pavimentação. O Gráfico 1, mostra o consumo de malha asfáltica entre os anos de 2000 e 2009, nota-se que 2008 houve o maior registro desse consumo cerca de 2.125 mil toneladas, marca esta que excedeu o recorde obtido em 1998 de 1.970 mil toneladas. (MOURA, 2014)

Gráfico 1 - Consumo de Asfalto no Brasil entre 2000 e 2009



Fonte: MOURA (2014).

No Brasil o marco histórico foi no ano de 1906 quando ocorreu o calçamento asfáltico em grande escala na cidade do Rio de Janeiro, tal marco ocorreu quando a cidade era governada pelo Prefeito Rodrigues Alves, a situação atual é que depois de muitas décadas a malha asfáltica necessitada de manutenção, por isso milhares de quilômetros estão parcial ou totalmente deteriorados, há uma necessidade urgente de retificar os danos para que não ocorra a perda total do pavimento aplicado.

A Figura 2 apresenta a parcela de rodovias não pavimentadas no Brasil no ano de 2014, juntamente com a porcentagem de rodovias pavimentadas.

Figura 2 - Pavimentação nas Rodovias do Brasil em 2014



Fonte: ZENI (2016).

2.1.1 Conceito De Pavimento

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas construída sobre terraplenagem, destinada economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego para melhorar as condições de rolamento, proporcionando condições satisfatórias de conforto e segurança.

De acordo com Senço (2007, p.42), é um “sistema de várias camadas de espessuras finitas que se assenta sobre um semiespaço infinito e exerce a função de fundação da estrutura, chamado de subleito”.

As cargas que solicitam um pavimento são transmitidas por meio das rodas pneumáticas dos veículos. “Á área de contato entre os pneus e o pavimento tem a forma praticamente elíptica, e a pressão exercida tem uma distribuição aproximadamente parabólica, com a pressão máxima exercida no centro da área carregada”. (SENÇO, 2007, p.44).

O comportamento estrutural depende da espessura de cada uma das camadas, da rigidez destas e do subleito, bem como da interação entre as diferentes camadas do pavimento (Bernucci et al 2008). Das estruturas de pavimentos, segundo a rigidez do conjunto, têm-se as estruturas rígidas e, no outro, as flexíveis.

Segundo Balbo (2007, p.11) o pavimento rodoviário é composto pelas seguintes camadas: subleito, regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

2.1.2 Subleito

O subleito na estruturação da pavimentação é a primeira camada, e esta, é o próprio terreno onde a pavimentação será construída. Mesmo parecendo que não é necessário se realizar nada sobre a terra, denominada neste caso de subleito, é importante proceder com uma atividade de terraplanagem e prensagem deste terreno, para que o mesmo fique adequado para a próxima camada. É importante também, uma detalhada análise de solo, pois como se pode ver acima na figura 1, o subleito é a primeira camada, assim irá sustentar as próximas, e é necessário ser firme o suficiente para que a sustentação aconteça de forma correta (BERNUCCI et al, 2008).

2.1.3. Regularização do Subleito

É feita uma camada não regular em cima do subleito. Esta camada é ideal para a correção de falhas da última camada do sistema de terraplanagem ou também na correção de antigas atividades no terreno, como anteriores construções de outras pistas de passagem (BALBO, 2007). Como o próprio nome diz ela tem a capacidade de regular a superfície do terreno. Desta maneira, ela necessita ter uma espessura que varia no decorrer do traço construído.

2.1.4 Reforço do Subleito

Esta camada é existente em variadas passagens, e tem o intuito de equilibrar situações problemáticas ou situações frágeis ocasionadas no terreno. Como por exemplo pistas feitos sobre solos de que contém excesso de areia. A camada de reforço do subleito tem uma espessura contínua que tem variedade conforme o dimensionamento do pavimento, instalado apenas sobre o subleito já regular, e seu principal objetivo é a melhoria da qualidade do subleito e obter a regularização da espessura da sub-base (BALBO, 2007).

2.1.5 Sub-base

Esta camada é feita, pois, é recomendado que a construção não seja feita direta por cima do leito obtido através da atividade de terraplanagem.

A sub-base tem por objetivo fazer a complementação da base, e é usada se houver qualquer coisa que impeça sua utilização de maneira direta sobre o reforço (leito), inclusive, também serve para regularização da espessura da base (BERNUCCI et al, 2008).

Como o nome já especifica, está entre o subleito e a camada base. O material utilizado para a construção desta camada tem que ser de ótima qualidade em relação a suportar grandes esforços. Tem por função também bombear o terreno do subleito para a camada base. (ANDRADE, s/d).

2.1.6 Base

A camada de base deve ter resistência com a função de distribuição do subleito para que resista aos esforços que se originam do tráfego, e também sobre o que irá construir o revestimento. A base tem por finalidade oferecer um suporte natural da carga. Por motivos de seu estado ser rígido, proporciona o alívio das tensões no revestimento e a distribuição das mesmas nas camadas inferiores.

A brita graduada simples é o material que mais se utiliza para fazer a base e também a sub-base de uma pavimentação. O piso através da brita granulada simples deve estar regularizado e compacto livre de partículas soltas. O diâmetro deste material não deve ultrapassar de 38mm, e deve contar de 3% a 9% deste material deve ser fino. Seu transporte é feito através de caminhões basculantes que distribuem o material na pavimentação por vibroacabadora ou motoniveladora (GRIMM e CORRÊA, 2003).

A etapa de compactar a base deve ser feita posteriormente ao espalhamento por meio de preservar a umidade da brita. O procedimento de compactação é realizado por compactadores estáticos e vibratórios (KRAN et al., 2006).

Sobre o lançamento da mistura asfáltica, Nakamura (2011) afirma que:

[...] os lançamentos das camadas devem ser uniformes, este lançamento é feito por vibroacabadora lançando a mistura, preparando o nivelamento e pré compactação da mistura asfáltica. É preciso cuidados com a imprimação para o lançamento da base, que precisa estar concluída e conferir impermeabilidade e aderência a base e o revestimento a ser executado. (NAKAMURA, 2011)

Sua compactação é repartida em duas etapas, que são: a rolagem de compactação, que tem em sua densidade, a impermeabilização e suavidade da superfície. E a rolagem de acabamento é feita no intuito de correção de marcas que são ocasionadas na superfície posteriormente a etapa de rolagem anterior, o pavimento compactado e pronto está apto para o recebimento de acabamento superficial especificado (NAKAMURA, 2011).

2.1.7 Revestimento

O revestimento resiste de forma direta a ação do rolamento do tráfego, e é constituído pela camada superior que possibilita a proteção das camadas inferiores dos estragos obtidos através dos esforços dos veículos que passam intensamente nas pistas, possuindo função impermeável. O revestimento pode ser classificado em

flexíveis e rígidos. Onde sua maneira de distribuir os esforços aplicados na pavimentação rígida é a seguinte: a placa tem poder de absorção maior por meio das tensões, distribuir as cargas sobre uma área relativa maior, mínima deformação e maior resistência à tração. De acordo com Page (2017), quando há necessidade de recuperar danos superficiais e problemas estruturais, os revestimentos têm utilização de forma isolada ou combinados e antecedidos ou não através da maneira de remover uma parte do velho revestimento por fresagem:

- ❑ Lama asfáltica: constitui-se para selar trincas e rejuvenescimento;
- ❑ Tratamento Superficial simples e duplo: constitui-se para selar as trincas e restaurar sua aderência superficial;
- ❑ Micro revestimento asfáltico a frio ou quente: utilizados quando é preciso selar as trincas e restaurar a aderência superficial da ação de desgastamento regular pelos veículos ao passar pela pista;
- ❑ Concreto asfáltico: quando o problema é a alteração irregular elevada;
- ❑ Mistura de camada porosa de atrito ou mistura descontínuas: utilizadas no surgimento de defeitos na estrutura ou quando existe um possível aumento do tráfego as medidas a serem tomadas para reestruturar ou reforçar tal estrutura são as alternativas aplicadas para restabelecimento ou incrementação de sua capacidade estrutural, integrando camadas novas (recapeamento) ou criando uma maneira de tratar as camadas que já existem (reciclagem).

Os pavimentos denominados flexíveis têm revestimento de acordo com sua composição de ligamento asfáltica com grãos minerais, através de sua mistura asfáltica. A maneira como demonstrará o desempenho desta camada está ligada às propriedades contidas em seus materiais, desta maneira como a meio dos ligantes e agregados (BALBO, 2015).

De acordo com o manual "Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros" em Page (2017), a mistura asfáltica quente se divide em três sub tópicos mais usados que são:

- ❑ Concreto asfáltico de graduação densa: combinação mista frágil que tem a necessidade de cuidados especiais. Suas características possuem teor de ligante asfáltico, tal este que utilizado excessivamente ou em pequenas

quantidades podem ocasionar em deformações duráveis permanentes, minimização da resistência e ocasionando também na criação de trincas.

- ❑ Mistura de graduação aberta: em terreno brasileiro é famosa por ser uma camada porosa de atrito (CPA), que é bastante utilizada no aumento de aderência pneu-pavimento, que obtém de curvas de granulometria semelhantes e quase de tamanhos iguais. É diferente do concreto asfáltico, porque conserva maiores quantidades de vazios com ar que não foram preenchidos ocasionando em quantidades menores de filer, agregado miúdo e ligamentos asfálticos, possibilitando a drenagem do revestimento e ocasionando para que o mesmo escoe lentamente a água.

Graduação descontinuada: esta fase constitui de um material com resistência a situações permanentes de deformantes, se aplica variamente de 5 a 7cm com detenção de características como macro textura superficial rugosa e possui um sistema de drenagem superficial eficaz. Sua superfície de revestimento possui grandes quantidades de grãos dimensionados de forma maior, comprados a graus dimensionados de forma intermediária e possibilitando em sua composição algumas quantidades de grãos finos.

Pode-se ilustrar as camadas dos pavimentos conforme Figura 3.

Figura 3 - Camadas do Pavimento



Fonte: FLATOUT (2018).

2.2 Pavimentação asfáltica

Deste modo, o presente estudo baseia-se em uma coleta de dados patológicos de maneira qualitativa. O escopo que identifica as causas das principais patologias oriundas de pavimentos asfálticos devido a mecanismos de pavimentação, buscando encontrar resultados corretivos e preventivos para os problemas encontrados (JUNIOR, 2019).

A devolução da pavimentação em vias públicas tem por objetivo reatar o pavimento com propriedades estruturais semelhantes ou melhores do que as do pavimento de origem inicial, acatando as sugestões e condições municipais. A superfície de acabamento tem que estar em nivelção com o pavimento de origem inicial (JUNIOR, 2019).

Um dos grandes conflitos relacionados à pavimentos urbanos estão conectados com a péssima mão de obra das atividades do serviço e da reestruturação de valas para que se instale ou reparar redes de infraestrutura urbana. É necessário que haja reparação imediata caso haja buracos nas valas, pois o mesmo afeta a segurança e conforto de seus usuários, permitindo o aumento de custos operacionais. (STUCHI, 2005).

O craqueamento é um dos modos de deterioração mais prevalentes em pavimentos flexíveis. É causada pelo carregamento do tráfego, baixa temperatura e pode ser acelerada pela oxidação do asfalto ou quando o material do asfalto apresenta um desempenho ruim. Na pesquisa sobre pavimentação asfáltica, esses problemas costumam ser abordados separadamente, devido às diversas razões para a fissuração. A vida útil do asfalto pode ser aumentada significativamente se esses problemas puderem ser resolvidos com uma ou uma combinação de soluções focadas na prevenção e recuperação de rachaduras no asfalto (BALBO, 2015).

Fadiga e fissuração térmica são os modos de angústia de fissuração mais dominantes em pavimentos flexíveis, resultando em falhas estruturais e funcionais dos pavimentos. Os mecanismos por trás dos dois modos são muito diferentes. A fadiga é um dano induzido pelo tráfego que resulta em tensões repetidas de tensão, induzidas por veículos pesados (JUNIOR, 2019).

Isso cria danos infinitesimais na parte inferior da camada e inicia microfissuras. Progressivamente, as rachaduras se propagam, o que leva à falha do pavimento. Por outro lado, quando a temperatura do pavimento cai, as tensões de

tração induzidas termicamente se acumulam na camada de asfalto e levam a sua fissuração quando a tensão térmica excede o limite da resistência à tração. Esse fenômeno é geralmente chamado de craqueamento a baixa temperatura. Nos dois modos de fissuração, o papel das propriedades viscoelásticas do ligante de asfalto é crucial (BALBO, 2015).

Existem vários mecanismos que afetam as propriedades viscoelásticas dos ligantes de asfalto. O endurecimento etário, que é um processo irreversível, é amplamente considerado o mais importante. Embora o ligante de asfalto seja apenas um componente da mistura de asfalto, o desempenho geral do pavimento de asfalto é amplamente determinado pelas propriedades viscoelásticas deste ligante. Vários fatores foram citados para explicar o fenômeno do endurecimento por idade em ligantes de asfalto. As principais causas de endurecimento por idade comumente citadas incluem oxidação, volatilização, polimerização, sinérese e separação (CAMARA, 2019).

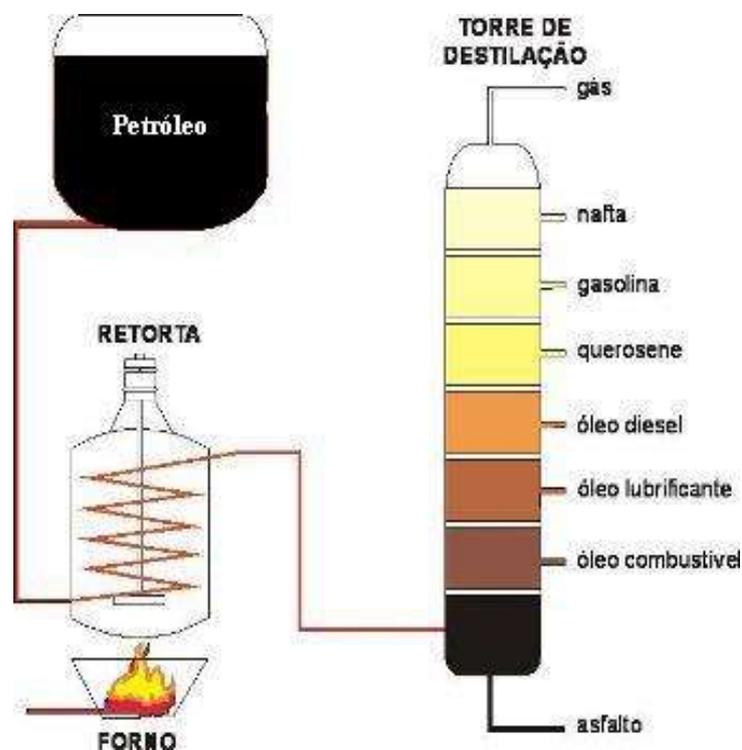
Segundo Camara (2019), os pesquisadores estão cada vez mais olhando a natureza como uma fonte de inspiração para resolver complexos desafios tecnológicos, sociais e ambientais. Sistemas, processos e projetos biológicos já influenciaram a inovação nos setores de energia, transporte e comunicação, entre outros.

Da mesma forma, a indústria de pavimentos, que está sob pressão constante para produzir materiais duradouros e de alto desempenho, pode se inspirar nos mecanismos subjacentes à capacidade do corpo humano de se curar. Os materiais de autocura (SHM) foram realmente explorados para ajudar a criar misturas de asfalto que podem fechar suas próprias fendas ou até mesmo impedir fendas antes que elas aconteçam (CAMARA, 2019).

2.3 Asfalto e pavimentos asfálticos

Produto orgânico de composição de hidrocarbonetos pesados, de graxas, fuel oil, carvão e petrolato, originário do processo de destilação fracionada do petróleo, representada na Figura 4, estes são encontrados na natureza podendo ser puros ou misturados em outras substâncias como minerais ou ainda encontrados em estruturas porosas por nome de rochas asfálticas. Possui características não voláteis com elevada massa molecular variando com a origem do petróleo (SENÇO, 2001).

Figura 4 - Subproduto do Petróleo



Fonte: SOUZA (2007).

O cimento asfáltico de petróleo é obtido através do processo de refinamento da destilação a vácuo ou desfalção por solventes, podendo ser encontrados em estado sólido ou semissólido, dependendo da temperatura, possui características de cor negra e tons pardos. Caracteristicamente flexíveis, duráveis, com alto índice de resistência á ações da maioria dos ácidos, sais e álcalis, composto por material viscoelástico e termo sensível livre de impurezas (SENÇO, 2001).

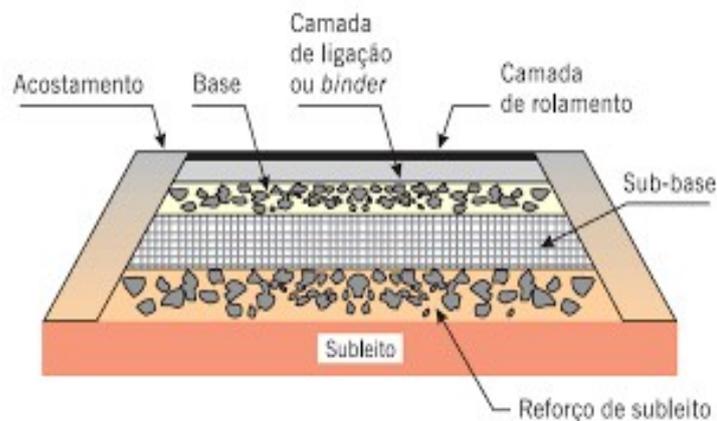
São estes: CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo que tem uso direto em construções de revestimento; ADP – são os asfaltos diluídos de petróleo comumente chamado de asfalto recortado ou “cut-backs”; Agente rejuvenescedor que atua no

processo de regeneração dos asfaltos envelhecidos e oxidado; Emulsão Recicladora este atua permitindo uma reciclagem em até 100% nas misturas envelhecidas fresadas; Agentes Antipó atua como impermeabilizantes geralmente aplicados em vias não pavimentadas; Tapa buracos usados para reparo de pequenas obras em vias urbanas sendo de água, gás, esgoto e eletricidade; Sela trinca este atua preenchendo e impermeabilizando os vazios ocasionados pelas trincas impedido a entrada da água para o interior do asfalto; CAP's é o cimento asfáltico de petróleo produto aplicado a quente, este fabricado e comercializado no país (Brasil).

A pavimentação asfáltica consiste em camadas sobrepostas sobre um terreno preparado para receber a pavimentação industrial. Como se comportará estruturalmente dependerá da espessura de cada camada, a rigidez e o subleito são fatores de grande influência, a interação entre as camadas é o que vai determinar sua qualidade. Para Senço (vol.1, 2001), de uma forma geral, os revestimentos são classificados em: rígidos e flexíveis. Os revestimentos rígidos são pouco deformáveis, constituído principalmente de concreto de cimento, já os revestimentos flexíveis ou não rígidos, são aqueles que as deformações não levam ao rompimento.

De modo geral a pavimentação asfáltica é associada a pavimento flexível, revestida e apoiada sobre camadas de base, de sub-base e o reforço do subleito que são constituídos por matérias granulares, por solos e a misturas de vários solos sem a adição dos agentes cimentares, como mostra a figura 5.

Figura 5 - Pavimento Flexível



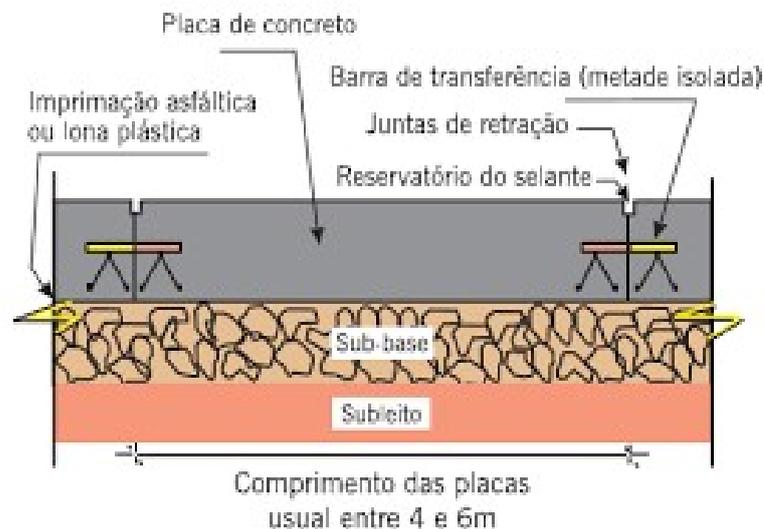
Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010).

A distribuição de esforços/aplicação na pavimentação flexível é caracterizada por: a carga se distribui em parcelas proporcionais à rigidez das camadas; todas as

camadas sofrem deformações elásticas significativas; as deformações até um limite não levam ao rompimento; a qualidade do solo é importante, pois é submetido a altas tensões e absorve maiores deflexões.

A pavimentação rígida consiste em construções por placas de concreto que tem por função absorver a sollicitação e posteriormente fazendo a distribuição sobre grandes áreas que encontrando o subleito a carga já está amortecida. De acordo com o entendimento do DNIT (2006) a pavimentação rígida tem em sua estrutura uma elevada rigidez em comparação as camadas inferiores, assim são possíveis absorver todas as tensões ocasionadas do carregamento aplicado, como podemos ver na Figura 6.

Figura 6 - Pavimento Rígido



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010).

Esta é uma das mais tradicionais formas utilização em vicinais, recuperação de vias urbanas e rodovias. De acordo com a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de asfalto (Adeba) aproximadamente 90% das estradas são feitas com revestimentos asfálticos. Ressaltando que o tipo de tráfego e sua intensidade influenciam grandemente na qualidade e durabilidade da pavimentação (COSTA, 2015).

2.4 Pavimentos do ponto de vista estrutural e funcional

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O Manual de asfalto (BALBO, 2015) lista mais de 100 das principais aplicações desse material, desde a agricultura até a indústria. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos e um dos mais antigos também. Na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento.

A estrutura do pavimento é um sistema formado por várias partes, constituída de um conjunto que sofrerá deslocamentos e tensões como parte de resistir às cargas solicitantes pelos veículos e pelo clima. Ou seja, como qualquer outra estrutura de construção civil, as cargas são distribuídas de forma compatível com a resistência de cada camada do pavimento (KRAN, 2006).

De acordo com Balbo (2015), no Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas. Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos. As seguintes definições e conceituações são empregadas com referência ao material:

Betume: comumente é definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono;

Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo conter ainda outros materiais, como oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção;

Alcatrão: é uma designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos. BALBO (2015)

A Tabela 1 mostra as composições químicas presentes em alguns asfaltos.

Tabela 1 - Exemplos de composições químicas de asfaltos por tipo de cru

Origem	Mexicano	Boscan Venezuela	Califórnia Estados Unidos	Cabiúnas Brasil	Cabiúnas Brasil	Árabe Leve Oriente Médio
Refinaria	–	RLAM Bahia	–	Regap Minas Gerais	Replan São Paulo	Reduc Rio de Janeiro
Carbono %	83,8	82,9	86,8	86,5	85,4	83,9
Hidrogênio %	9,9	10,4	10,9	11,5	10,9	9,8
Nitrogênio %	0,3	0,8	1,1	0,9	0,9	0,5
Enxofre %	5,2	5,4	1,0	0,9	2,1	4,4
Oxigênio %	0,8	0,3	0,2	0,2	0,7	1,4
Vanádio ppm	180	1.380	4	38	210	78
Níquel ppm	22	109	6	32	66	24

Fonte: LEITE (2003).

O pavimento é composto por camadas sobrepostas de distintos materiais compactados a partir do subleito, apropriado para aprovar estruturalmente o tráfego, de formato durável e baixo custo, se considerado o serviço de manutenção e reabilitação obrigatórias (BALBO, 2015). O pavimento possui também função de resistir aos esforços recorrentes do tráfego de veículos e ao clima, e também auxilia no progresso das classes de rolamento, segurança e economia (SENÇO, 2001).

Os asfaltos são produzidos pela adição de um diluente volátil, obtido do próprio petróleo, que varia conforme o tempo necessário para a perda desse componente adicionado restando o asfalto residual após a aplicação. O diluente serve apenas para baixar a viscosidade e permitir o uso à temperatura ambiente (IBP, 2009).

No Brasil são fabricados dois tipos de asfalto diluído, chamados de cura média e de cura rápida. O termo cura refere-se à perda dos voláteis e depende da natureza do diluente utilizado. A denominação dos tipos é dada segundo a velocidade de evaporação do solvente:

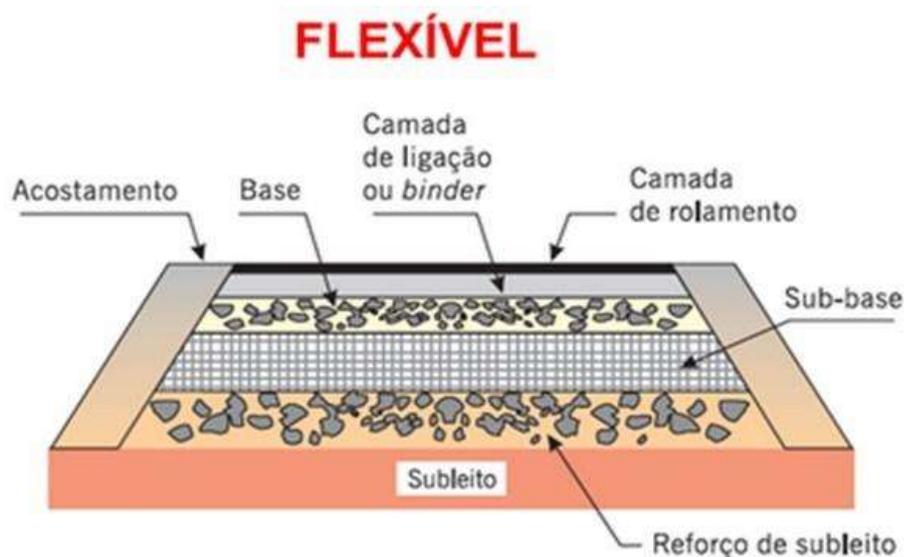
- ✓ cura rápida (CR) cujo solvente é a gasolina ou a nafta;
- ✓ cura média (CM) cujo solvente é o querosene.

2.5 Pavimentos flexíveis

Não menos importante, os pavimentos flexíveis são bastante utilizados e é de grande importância quando se diz a respeito de malhas asfálticas,

Em outras palavras são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente à compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam as estruturas as deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (SENÇO, 2007). A Figura 7 apresenta um modelo de manta asfáltica flexível.

Figura 7 - Pavimento Flexível (Corte Transversal)



Fonte: INOVA (2015).

Segundo Bernucci *et al.* (2010), “os revestimentos das estruturas de pavimento em geral são submetidos a esforços de compressão e de tração devidos à flexão, ficando as demais camadas submetidas principalmente à compressão”. Em certos casos, uma camada subjacente ao revestimento pode ser composta por materiais estabilizados quimicamente de modo a proporcionar coesão e aumentar sua rigidez, podendo resistir a esforços de tração. Embora possuam coesão, as camadas de solos finos apresentam baixa resistência à tração, diferentemente dos materiais estabilizados quimicamente. Ainda de acordo com o autor anteriormente citado os pavimentos são compostos por um revestimento de camada asfáltica, seguido respectivamente de base, sub-base e subleito, que podem ser compostos de materiais granulares, solos ou misturas de solos, no entanto não há presença de

material cimentante. Figura 8 apresenta uma variedade de materiais que podem ser usados em cada camada do pavimento flexível.

Figura 8 - Tipos de Materiais Usados Para Camadas Do Pavimento Flexível



Fonte: ADADA (2008).

Existem alguns tipos de pavimentos flexíveis e Senço (2007, p.15) os define como:

- Base de solo estabilizado: É uma camada construída com solo satisfazendo determinadas especificações, granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade, cuja estabilização pode ser conseguida de forma natural ou artificial.
- Base de macadame hidráulico: O macadame hidráulico é uma variante do macadame original. Trata-se de uma base ou sub-base constituída de uma ou mais camadas de pedra britada, de fragmentos entrosados entre si e material de enchimento.
- Base de brita graduada: Trata-se de um tipo de base que ganhou a preferência entre as bases de pedra. É resultante da mistura, feita em usinas de agregado, previamente dosado, contendo inclusive de material de enchimento, água e, eventualmente, cimento. Guardada as proporções, principalmente quanto à granulometria dos materiais, é uma base que substituiu o macadame hidráulico, com grandes vantagens no que concerne ao processo de construção.
- Base de macadame betuminoso: Consiste na superposição das camadas de agregados interligadas por pinturas de material betuminoso. É chamada também de base negra, sendo que o número de camadas depende da espessura estabelecida em projeto.
- Base de paralelepípedo e de alvenaria poliédrica (por aproveitamento): Como base, correspondem a leitos de antigas estradas que, com a maior velocidade atingida pelos veículos, deixaram de apresentar interesse, dada principalmente a trepidação e a alta sonoridade que provocam.

Por fim, têm-se os revestimentos flexíveis, que de acordo com Senço (2007), os materiais constituintes são os mesmos da base rígida, com condições de resistir

aos esforços horizontais e distribuir esforços verticais à sub-base. Podemos citar como exemplo desses revestimentos, o concreto betuminoso usinado a quente, que nada mais é que o revestimento asfáltico mais utilizados nas vias urbanas e rodovias brasileiras. Tal revestimento consiste na mistura de específica de betume e outros componentes com essencial controle de granulometria (CUNHA, 2010).

Além disso, Cunha (2010) afirma que existe também o revestimento pré-misturado a quente e o pré-misturado a frio. O primeiro é aquecido a uma temperatura próxima ao do betume, já o segundo, trata-se da mistura do agregado e asfalto, empregado sem o prévio aquecimento. Ainda de acordo com o autor citado, os calçamentos são outro tipo de revestimento, estes são característicos das vias urbanas e são menos favoráveis devido à sua demora na execução, bem como a incômoda sonoridade e trepidação que provocam quando entre em contato com os veículos.

Para finalizar, de acordo com Cunha (2010) temos outros modelos de revestimentos como os paralelepípedos, que tem grande durabilidade, a alvenaria poliédrica ou pedras irregulares, “que formam um mosaico e os blocos de concreto pré-moldados, que são produzidos em fábricas específicas para este fim e são bastante utilizados nas vias urbanas e estacionamentos, devido ao seu formato agradável”.

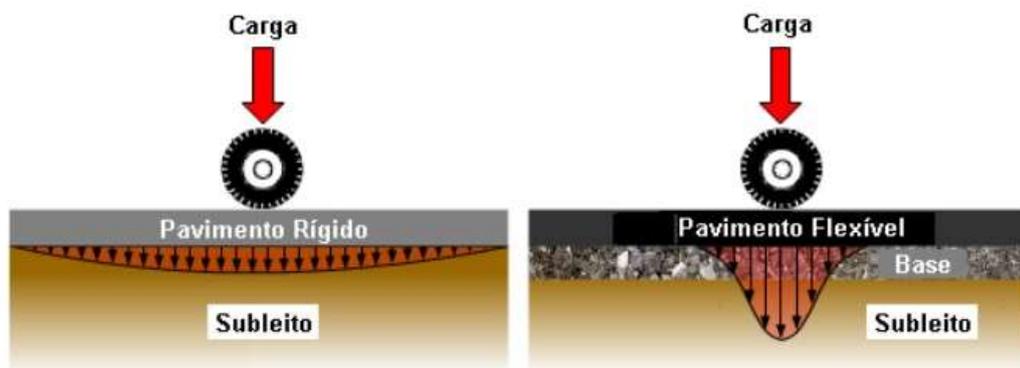
As vantagens em relação à reciclagem de pavimentos flexíveis são os benefícios ambientais; benefícios técnicos; benefícios econômicos e de desempenho.

2.6 Pavimentos rígidos

Os pavimentos rígidos são aqueles compostos por placas de cimento Portland formadas pelas misturas de agregados graúdos e miúdos, cimento Portland, areia e água. As placas de concreto são dispostas por cima do solo da fundação ou acima de uma camada de material agregado, podendo ou não ter armações com aço. O revestimento do pavimento rígido é dotado de grande rigidez em relação às camadas inferiores, em razão disso suporta a maior parte das tensões decorrentes da utilização da via. Desse modo, desde que a terraplanagem e a compactação sejam bem executadas, esse tipo de pavimento de concreto desempenhará sua função satisfatoriamente (SCHMITD, 2021).

Ressalta-se que é fundamental que a camada de concreto assegure a impenetrabilidade do pavimento, tanto através das lajes quanto das juntas que devem ser seladas com produtos apropriados. A laje de betão é responsável por absorver a tensão realizada sobre o pavimento e as dispersa em uma grande área, assim, apenas uma pequena parte da pressão proveniente do contato entre o pneu e o pavimento atinge a fundação. Diferente do que ocorre no pavimento flexível, no pavimento rígido a fundação possui uma função secundária na resistência (RODRIGUES, 2011). A Figura 9 mostra as formas de distribuição de cargas para o pavimento flexível e para o pavimento rígido.

Figura 9 - Forma de distribuição de cargas por tipo de pavimento



Fonte: ARAÚJO *et al.* (2016).

A camada de material agregado é composta por grânulos geralmente estáveis com ligante hidráulico, tais como betão pobre e solo-cimento, de modo a proporcionar uma excelente resistência aos esforços de tráfegos excessivos e pesados. Além disso, possibilita a existência de uma superfície firme, homogênea à camada superior, resistente à degradação ao longo da obra, bem como da longevidade do pavimento.

Porém, ressalta-se que a fundação deve ser formada por material uniforme, insensíveis à água. Caso o material seja heterogêneo nas características físicas e mecânicas, assim como pouca resistência, deve-se acrescentar um leito de pavimento com solo melhorado. Em virtude da grande vida útil comparado aos pavimentos flexíveis, os pavimentos de betão representam uma boa opção para o calçamento de estradas, vias periféricas, grandes avenidas, aeroportos e outros (RODRIGUES, 2011).

2.7 Tipos de manifestações patológicas

A Norma do DNIT (005/2003) classifica as manifestações patológicas que podem ser encontradas no revestimento asfáltico, dentre elas estão:

- Fendas
- Panela ou buraco
- Desgaste
- Ondulação ou corrugação

2.7.1 Fendas

As manifestações de fendas no pavimento asfáltico, conforme Figura 10, podem ser descritas como “qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas” (DNIT, p. 2, 2003).

Figura 10 - Fenda em revestimento asfáltico



Fonte: SOUTO, MORESCO, GOLTZ (2019).

Segundo DNIT (2006), os fatores que atuam em conjunto e que influenciam o aparecimento de fendas são a tensões provocadas pelo tráfico atuante sobre o revestimento, mudanças de temperatura, etc.

SOUTO, MORESCO, GOLTZ (2019) citam que as prováveis causas para o surgimento de fendas são: a má execução das juntas de construção, contração e/ou dilatação do revestimento asfáltico, propagação de trincas nas camadas abaixo do revestimento.

2.7.2 Panela ou Buraco

As painelas ou buracos (Figura 11) são cavidades que podem surgir por diversas causas, incluindo a “falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas” (DNIT, p. 3, 2003).

Figura 11 - Painelas ou buracos



Fonte: SINDETRANS (2018).

2.7.3 Desgaste

O desgaste, representado na Figura 12, é caracterizado pelo “efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego” (DNIT, p. 3, 2003).

Figura 12 - Desgaste de pavimento



Fonte: SOUTO, MORESCO, GOLTZ (2019).

2.7.4 Ondulação ou corrugação

A ondulação ou corrugação é a “deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento” (DNIT, p. 3, 2003), conforme Figura 13.

Figura 13 - Ondulações ou corrugações em pavimento



Fonte: SINDETRANS (2018).

2.8 Manutenção e conservação dos pavimentos

Segundo SILVA (2020), “a manutenção de um pavimento abrange todas as manifestações que prejudique, direta ou indiretamente, o funcionamento atual e/ou futuro do pavimento”.

Os serviços de conservação rodoviária fazem parte de uma série de funções e atividades com o objetivo de oferecer conforto e segurança aos usuários. A estrutura dos serviços de conservação deve contemplar os aspectos físicos do sistema viário, conforme o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, p. 222, 2005).

2.8.1 Conservação Preventiva

A conservação preventiva é desenvolvida a partir de atividades realizadas periodicamente com o intuito de evitar o surgimento ou aumento das patologias encontradas no pavimento. Estas atividades dependem trânsito, topográfica e clima (ex.: operação tapa-buraco), como explica o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, p. 227, 2005).

2.8.2 Conservação Corretiva

“É o conjunto de operações de conservação que tem como objetivo reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento dos componentes da rodovia propiciando conforto e segurança dos usuários” (DNIT, p. 227, 2005).

2.8.3 Recuperação do pavimento

A restauração do pavimento tem como objetivo atribuir ao pavimento uma nova estrutura com finalidade de torná-lo propício a cumprir um novo ciclo de vida. É um conjunto de atividades periódicas que demandam um projeto de engenharia, conforme o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, p. 227, 2005).

2.8.4 Recapeamento do pavimento

O recapeamento do pavimento, representado na Figura 14, assim como a recuperação do pavimento, também é uma atividade que demanda um projeto de engenharia com o objetivo de conferir uma nova e adequada estrutura ao pavimento existente. Consiste em sobrepor o pavimento existente com uma camada betuminosa e/ou concreto de cimento Portland que desempenhará um novo ciclo de vida, conforme o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, p. 323, 2005).

Figura 14 - Recapeamento de pavimento



Fonte: O DEBATE (2018).

2.8.5 Reconstrução do pavimento

A reconstrução do pavimento (Figura 15) consiste na remoção parcial ou total do pavimento para execução de nova camada que cumprirá um novo ciclo de vida, conforme o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, p. 323, 2005).

Figura 15 - Reconstrução de pavimento



Fonte: SETRAN (2019).

2.8.6 Reforço do pavimento

O reforço do pavimento consiste na recuperação da estrutura do mesmo com a sobreposição de uma ou mais camadas, como explica o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, p. 323, 2005).

2.8.7 Remendo do pavimento

O remendo, representado da Figura 16, é uma “porção do revestimento onde o material original foi removido e substituído por outro material (similar ou diferente). Remendos existentes são em geral consideradas falhas, já que refletem o mau comportamento da estrutura original” (DNIT, p. 389, 2005).

Figura 16 - Remendo de pavimento



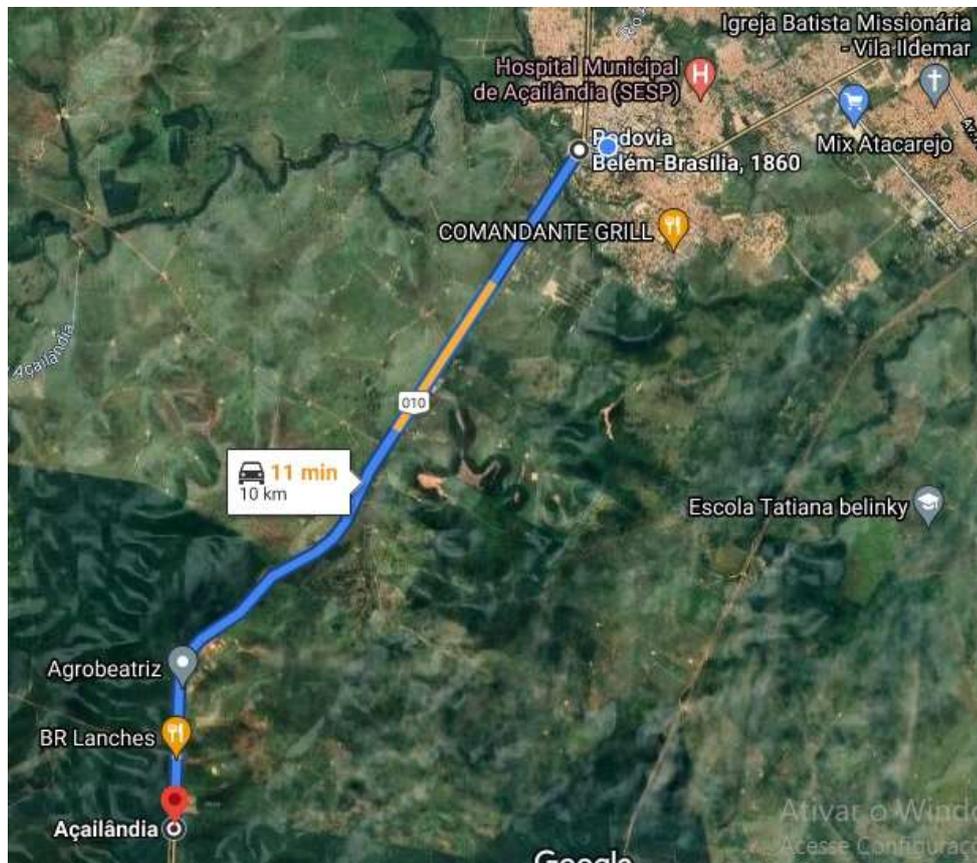
Fonte: ARTERIS (2015).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho trata de um estudo de revisão bibliográfica e segue a classificação de pesquisa feita por Gil (2008) que classifica as pesquisas quanto à natureza como: básica e aplicada; quanto aos objetivos: pesquisa exploratória, descritiva e explicativa; quanto aos procedimentos: pesquisa documental, bibliográfica, experimental, operacional, estudo de caso, pesquisa-ação, pesquisa participante e pesquisa ex-post-facto; do ponto de vista da abordagem do problema: pesquisa quantitativa, qualitativa ou quanti-qualitativa.

Partindo do que foi explanado, esta pesquisa classifica-se como qualitativa, uma vez que buscou-se conhecer as principais patologias no pavimento asfáltico na BR 010 referente ao trecho Km 1406 a Km 1416, trecho situado entre as cidades de Açailândia (MA) e Imperatriz (MA), cuja extensão equivale a 10 Km (Figura 17). O trecho foi analisado no mês de janeiro de 2022, possui pavimentação flexível e diversas patologias.

Figura 17 – BR-010 Km 1406 a 1416



Fonte: Google Earth (2021).

De acordo com a natureza, esta investigação configura-se como pesquisa básica, pois não houve aplicação prática prevista. Este estudo foi operacionalizado por meio de sete etapas as quais estão estreitamente interligadas: elaboração do problema de pesquisa, busca na literatura, coleta de dados, análise do local estudado, análise dos estudos incluídos, discussão dos resultados e apresentação da revisão.

A busca na literatura foi realizada nas bases de dados da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Google Acadêmico, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Para a busca foram utilizadas as palavras-chave: Pavimentação Asfáltica, Patologias em Pavimentos asfálticos, asfalto, pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos.

Os critérios de inclusão adotados foram: artigos, monografias, teses e dissertações disponíveis integralmente, isto é, textos completos, que contemplassem a temática, disponíveis nas bases de dados selecionadas, publicados nos idiomas português, inglês e espanhol, publicados em qualquer ano, que fizessem menção à pavimentação asfáltica e suas patologias, bem como os tipos de pavimentos. Além de trabalhos eletrônicos utilizou-se livros e manuais que tratam sobre pavimentação asfáltica. Após a seleção, foi realizada a leitura dos materiais, seguida da organização dos mesmos conforme as categorias apresentadas.

Para observação e realização de registros fotográficos do trecho estudado foi realizada uma visita no local para análise das condições físicas do pavimento e tipos de patologias existentes.

4 RESULTADOS

Patologias são anomalias que podem aparecer nos pavimentos devidos a vários fatores relacionados à forma como a via é utilizada, assim como à fase de construção, seja no dimensionamento ou execução da mesma. O desenvolvimento da patologia no pavimento permite avaliar as prováveis causas existentes para a deformidade e, assim, decidir sobre quais as medidas de controle podem ser realizadas. Nesse sentido, é importante saber reconhecer as principais patologias que podem ocorrer em rodovias, a fim de compreender a aplicação dos diferentes tipos de manutenção (SCHIMITD; COSTA, 2021).

A partir do exposto, ressalta-se que as principais patologias possíveis de ocorrerem são as seguintes: deformações de superfície; defeitos de superfície; panela ou buraco; escorregamento do revestimento betuminoso; fendas; e remendos (PEREIRA, 2018).

Contudo, para fins de estudo, serão descritos apenas as patologias encontradas na BR 010 no trecho estudado. As deformações de superfície podem ser dos tipos afundamentos e ondulações ou corrugações. Os afundamentos são deformações constantes, que possuem características de depressão e podem ser plásticos e de consolidação.

Sendo que o afundamento plástico ocorre devido a fluidez de uma ou algumas camadas do pavimento ou do subleito, com soerguimento lateral. Para extensão menor ou igual a 6 metros é chamado de afundamento plástico local e quando é superior a 6 metros caracterizam-se como afundamento plástico de trilha de roda.

O afundamento de consolidação é formado quando uma ou mais camadas do pavimento ou subleito se consolidam de forma diferente sem a presença de soerguimento, são resultantes de obras mal feitas, sem a devida compactação. Semelhantemente ao anterior, quando a extensão é menor a 6 metros é denominado de afundamento de consolidação local, para extensões acima disso é denominado de afundamento de consolidação de trilha de roda (ARAÚJO, 2020). A Figura 18 ilustra um afundamento encontrado na BR-010.

Figura 18 - Afundamento plástico local encontrado na BR 010



Fonte: Autor (2021).

As ondulações ou corrugações são um tipo de barreiras ou lombadas transversais formadas no revestimento, popularmente conhecidas como costela de vaca. Elas ocorrem em virtude da má execução da base e pouca estabilidade do composto asfáltico seja pela grande quantidade de cimento asfáltico ou finos. Entretanto, essas anomalias podem se formar pela ação do trânsito no pavimento, relacionadas às tensões cisalhantes horizontais causadas pelos veículos em áreas que sofrem a aceleração e frenagem, tais como subidas, rampas, curvas e intersecções (PEREIRA, 2018). Na figura 19 é possível observar ondulações na BR 010 no trecho analisado:

Figura 19 - Ondulações encontradas na BR-010



Fonte: Autor (2021).

Os defeitos de superfície são de dois tipos: a exsudação e o desgaste. A exsudação é qualificada pelo aparecimento do ligante asfáltico na superfície da via, decorrente de falha na quantidade adequada do ligante betuminoso que passa para a superfície através do revestimento asfáltico e ganha consistência. A dilatação térmica do asfalto ou a compressão causada pela passagem de veículos, faz com que o betume seja transposto para a superfície, tendo em vista que a viscosidade é uma propriedade que mensura a uniformidade do betume (SCHMITD, 2021).

O desgaste, por sua vez, ocorre em razão do desprendimento dos agregados da superfície do pavimento impactando no deslizamento, e conferem aspereza à via. As principais causas são erros na mistura do betume, aplicação de materiais inadequados, possui também relação com o tráfego e o intemperismo (RIBEIRO, 2017). Na figura 20 ilustra-se o desgaste na BR 010:

Figura 20 - Desgaste encontrado na BR-010



Fonte: Autor (2021).

A panela é um buraco é a formação de cavidade no revestimento que pode atingir as camadas mais internas acarretando em desagregação dessas camadas. Em geral, a panela decorre de trincas, afundamentos e desgaste, sobrevivendo sobretudo pela ausência de adesão entre as camadas e à água da chuva (PEREIRA, 2018). Na figura 21 observa-se uma panela encontrada no trecho analisado:

Figura 21 - Formação de Panela ou Buraco



Fonte: Autor (2021).

A fenda é uma descontinuidade na superfície asfáltica e são uma das anomalias mais relevantes dos pavimentos asfálticos, as quais são classificadas conforme sua gravidade: classe 1 são as fendas com abertura menores que 1mm; classe 2 são fendas acima de 1mm e classe 3, fendas superiores a 1mm e desagregação próximas às bordas. Entretanto, as fendas podem ser subdivididas também em fissuras ou trincas (PEREIRA, 2018).

As fissuras são fendas ínfimas, cuja visibilidade só é possível à distâncias menores a 1,5 m, e que estão ainda em estágio inicial sem causar danos funcionais no pavimento (SOUZA; BORGES, 2019).

As trincas são fendas ligeiramente visíveis, com aberturas maiores que as da fissura, em geral causadas por fadiga em razão da repetibilidade de carga dos veículos. Podem ser do tipo isolada ou interligada. A trinca isolada subdivide-se em transversal, disposta ortogonalmente ao eixo da via, podendo ser curta, até 1 metro ou longa, acima de 1 metro; longitudinal com apresentação paralela ao eixo, curta ou longa; ou de retração, relacionada à retração térmica, do elemento presente no

revestimento ou da base. Já a trinca interligada pode ser: do tipo couro de jacaré, sem direções específicas; ou do tipo bloco, marcada pela presença de blocos bem acentuados. As tipologias de trincas interligadas podem ou não possuírem erosão significativa na borda (PEREIRA, 2018), conforme Figura 22.

Figura 22 - Trincas encontradas na BR-010 Km 1406 a Km 1416



Fonte: Autor (2021).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura acerca das principais patologias encontradas na BR-010 no trecho compreendido entre os Km 1406 a 1416. Como foi visto, o transporte rodoviário no Brasil segue a tendência mundial e representa maior fatia do transporte de cargas, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto do país.

No entanto, não se pode deixar de destacar os desafios enfrentados pelo setor, causados, sobretudo, pela infraestrutura da malha asfáltica, que contribui para o aumento dos custos de transporte, bem como da própria segurança dos usuários das vias. A respeito da BR-010, destaca-se que esta rodovia é essencial para fazer a ligação entre as regiões norte e central do Brasil, permitindo o atendimento das demandas do mercado interno. Todavia, essa rodovia não está isenta das patologias que acometem os pavimentos asfálticos.

Por meio da pesquisa realizada observou-se que no trecho analisado, as principais patologias encontradas são os afundamentos, ondulações, desgastes, panelas, fendas e trincas. Cabe ressaltar que algumas dessas anomalias estão relacionadas com a execução das obras, sem desconsiderar a forma de utilização da via, pois o tráfego de veículos é excessivo.

Medidas como a utilização de lama asfáltica para selagem de trincas, assim como o recapeamento podem ser eficazes para solucionar os problemas apresentados. A fiscalização também exerce um papel relevante no sentido de monitorar os veículos de transporte de carga para não excederem os limites de dimensões e peso máximos. Dessa maneira, a integração entre manutenção por parte do órgão de competência sobre a via e a fiscalização do transporte rodoviário, pode contribuir significativamente para evitar o surgimento de novas patologias e garantir a segurança dos usuários.

Por fim, conclui-se que os objetivos propostos para a pesquisa foram alcançados. Evidentemente o aporte teórico do trabalho não dispensa a realizações de investigações futuras acerca da temática. Sugere-se como estudos futuros o levantamento sobre parcerias entre os órgãos responsáveis por essa rodovia com o foco de melhorar a qualidade da pavimentação asfáltica.

REFERÊNCIAS

- ADADA, Lucas Bach. **Pavimentos Asfálticos e Cimento Portland**. p.89. Paraná, 2008. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/MarcosVinicius414/pavimentos-flexiveiserigidos-lucasadada> >.
- ANDRADE, Mário Henrique Furtado. **Introdução a Pavimentação**. Universidade Federal do Paraná. (s/d). Disponível em <<http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MOdule%201%20-%20Introducao.pdf>>.
- ARAÚJO, Yedda Oliveira de. **Análise de Manifestações Patológicas do Pavimento Asfáltico da BR-153 no trecho Km 490 até Km 498**. 2020. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, Tocantins, 2020.
- ARAÚJO, Marcelo Almeida; SANTOS, Martha Jussara Paixão dos; PINHEIRO, Heunbner Pereira; CRUZ, Zoraide Vieira. **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, Novembro de 2016. ISSN: 2448-0959
- BERNUCCI, Liedi Bariani. DA MOTA, Laura Maria Goretti. CERATTI, Jorge Augusto Pereira. SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. 2008. 3ª Edição. Rio de Janeiro.
- Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. CBCS. **Sustentabilidade na construção**. 2007. Visualizado em < <http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE> >.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Boletins Técnicos CNT**. jan, 2022. 47 p. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 04 fev. 2022.
- CUNHA, Célia Melo. **Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem**. 2010, 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Lisboa, 2010. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/47129981.pdf>. >
- CRUZ, Cassia Maria Santos et al. Modais de transporte no Brasil. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 2, p. 1-27, 2019. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/657>. Acesso em: 14 fev. 2022.
- DNIT- Departamento Nacional de Infra- Estrutura e Transporte. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. 249 p.
- FRANÇA, Frederico Lemos; FERNANDES, Társis Maday Jorge. **Patologias em Pavimento Asfáltico**. 2017, 58 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, GO, 57p. 2017.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

KRAN, Faída et al. Qualidade de vida na cidade de Palmas–TO: uma análise através de indicadores habitacionais e ambientais urbanos. 2006. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 2006.

NAKAMURA, Juliana. **Pavimentação asfálticas: Os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução.** Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/artigo260588-3.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2021.

PAGE, C. **Qualidade da pavimentação em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade.** 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PEREIRA, Helena. **Patologias em pavimentos asfálticos e determinação do grau de deterioração asfáltica em trechos de tráfego de veículos pesados.** 2018. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Maringá, 2018.

PILÃO, Nivaldo; HUMMEL, Paulo. **Matemática Financeira e Engenharia Econômica: a teoria e análise de projetos de investimentos.** 1 ed. São Paulo: .., 2002.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo – Pavimentação Asfáltica, Rio de Janeiro, 1989.

PLATI, C. Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 539-555, 2019.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento**, [online], ano 2, v. 1, p. 733-754. set. 2017. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-flexivel>. Acesso em: 10 fev. 2022.

RODRIGUES, José Luís Azevedo. **Conceção de Pavimentos Rígidos.** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, 2011.

Rokade, S **Use of plastic and waste rubber tires in flexible highway pavements**, in Proc. International Conference on Future Environment and Energy, vol. 28, IACSIT Press, Singapore, 2012.

ROMIER , M. AUDEON , J. DAVID , Y. MARTINEAU , F. OLARD. Asfalto de baixa energia com desempenho do asfalto de mistura quente Transporte. **Revista Gravando.** 2006.

ROMESITE. **Via Appia Antica e Catacumbas de Roma.** Disponível em: <<https://romesite.com/via-appia-antica.html>. Acesso: 10 out. 2021.

SAMPAIO, E. A. N. **Análise da viabilidade técnica do uso de borracha de pneus inservíveis como modificadores de asfaltos produzidos por refinarias do Nordeste** – Unifacs, Salvador (2005).

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentos.** 2 ed. PINI, 2007.

SENÇO, Wlastermiller de, 1929 – Manual de técnicas de pavimentação, vol.1, 2.ed, São Paulo: Pini, 2007.

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

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

STUCHI, E. T. **Interferências de obras de serviços de água e esgoto sobre o desempenho de pavimentos urbanos**. 2005. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

SCHMITD, Guibson Felipe. **Incidência de manifestações patológicas no pavimento da Av. Juscelino Kubistchek da cidade de Ariquemes – RO**. 2021. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, 2021.

SOUSA, Hamilton Júnior Martins; BORGES, Luan de Alencar. **Análise patológica da pavimentação asfáltica no trecho da avenida Beira Rio à margem da BR-153 na cidade de Gurupi-TO**. 2019. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Gurupi, 2019.

SOUZA, Líria Alves de. **Centrifugação, sifonagem e destilação fracionada**. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/centrifugacao-sifonagem-destilacao.htm>. Acesso em 10 out. 2021.

THOMAZ, H. R. et al. **Análise de pavimentação estrutural**. 168f. Universidade Corporativa Caixa, 2002.

WINES, J. Green Architecture. Milan : Taschen, 2000. 240p.

ZENI, Fabiana. **Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Para Restauração de Rodovias com Adição da Camada de Base e Sub-base no Estudo de Caso da Rodovia SC 453, Trecho Tangará e Luzerna, em Santa Catarina**. 2016, 92 f. Monografia – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe-UNIARP. Santa Catarina- SC, 2016.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Pesquisa CNT Rodovias 2019**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019.

FRANÇA, Frederico Lemos; FERNANDES, Társis Maday Jorge. **Patologias em Pavimento Asfáltico**. 2017, 58 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, GO, 57p. 2017.