

# A Engenharia dos Pavimentos Asfálticos: Materiais, Processos e Desempenho

Adrian Felipe Pereira de Moraes<sup>1</sup>, Wellington Teixeira de Oliveira<sup>1</sup>

Orientador: Ramoel Serafini

coordenação do curso de Engenharia civil

## RESUMO

O estudo aborda a pavimentação asfáltica em estradas brasileiras, destacando a necessidade de atender a requisitos como resistência climática, desgaste mínimo dos pneus, boa aderência e eficiente drenagem. A manutenção periódica e a avaliação do pavimento são essenciais para prolongar sua vida útil e reduzir custos operacionais. O Brasil possui uma extensa malha rodoviária, sendo a principal via de transporte de carga e passageiros. A pesquisa utilizou métodos exploratórios e bibliográficos, analisando camadas e patologias dos pavimentos. A estrutura do pavimento, composta por diversas camadas, é crucial para distribuir cargas e minimizar tensões e deformações, garantindo desempenho e durabilidade. A sinalização viária e a drenagem são elementos críticos para a segurança e integridade das estradas.

**Palavras-chave:** Pavimentação. Estradas. Segurança. Rodovia. Asfalto

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, sendo um país de dimensão continental, baseado em suas características de relevo e ocupação de territórios - especialmente litorâneos -, e os altos custos de implantação das ferrovias, optou pela criação de uma das maiores malhas rodoviária do mundo.

Num país cuja rede rodoviária conta com 1,72 milhão de quilômetro de extensão, apenas 213,5 mil (12,4%) são pavimentadas, destes, 65,6 mil quilômetros são rodovias federais, sendo que apenas 7 mil quilômetros são duplicados (CNT 2022). As estradas são as principais transportadoras de carga e de passageiros no tráfego brasileiro, de acordo com a AGÊNCIA BRASIL (2022). Segundo Souza (1980), as estradas de menor qualidade elevam os custos operacionais em um terço, resultando em repercussões econômicas desfavoráveis para a comunidade como um todo, ele acrescenta que as condições da malha rodoviária geraram um consumo desnecessário de aproximadamente 1,5 bilhão em óleo diesel como também com gasolina e etanos, jogando na atmosfera uma quantidade exorbitante de gás carbônico isso implica de modo geral em um gasto de quase R\$ 4,90 bilhões aos condutores de veículo particular tanto como empresarial.

<sup>1</sup>Aluno de engenharia Civil da faculdade AGES JACOBINA

No Brasil, o desenvolvimento extensivo das vias ocorreu principalmente nas décadas de 40 e 50. A primeira rodovia pavimentada ligando o Rio de Janeiro a Petrópolis foi inaugurada em 1928 e hoje integra a BR 040 até Belo Horizonte. A partir dos anos 50, impulsionado pelo crescimento das fábricas de automóveis, o governo brasileiro focou na expansão da rede rodoviária. Em seguida, a fundação da Petrobras e a implementação de impostos voltados para a construção de estradas também impulsionaram o desenvolvimento de novas rodovias. Nesse contexto, um fator foi crucial para o crescimento do transporte rodoviário: o automóvel, que continuava a evoluir significativamente. Os brasileiros foram atraídos por essa nova forma de mobilidade; entretanto, o transporte ferroviário sofria com a falta de investimentos, fazendo com que carros e caminhões se tornassem cada vez mais importantes na vida cotidiana do país.

A infraestrutura viária sofreu desgaste devido à má conservação, projetos inadequados e fiscalização deficiente de cargas, permitindo cargas acima do limite, o que acelerou a deterioração dos pavimentos. Em 2022 foram registrados mais de 64 mil acidentes nas rodovias federais, resultando em um custo alto para o país em despesas previdenciárias e atendimento à saúde.

Visando prover segurança ao tráfego nas rodovias, o pavimento deve suportar os efeitos do clima, permitir deslocamento suave de automóveis, não causar desgaste excessivo dos pneus ou nível alto de ruídos, resistir ao fluxo de veículos, permitir o escoamento da água na sua superfície, direcionando-a para um sistema de drenagem eficiente, e proporcionar boa aderência para evitar derrapagens. Para atender a esses requisitos, a estrutura do pavimento é particularmente importante. Ela deve ser constituída por camadas que distribuam as solicitações de carga, limitando as tensões e as deformações do asfalto de maneira a garantir um desempenho adequado da via pelo tempo de vida útil previsto em seu projeto.

O objetivo geral dessa pesquisa é realizar uma revisão de literatura sobre pavimentação rodoviária considerando aspectos que afetam a trafegabilidade e segurança. Esse trabalho foi realizado levando em considerações as revisões de literatura sobre o assunto de rodovias e seus pavimentos, e esse trabalho mostrou a importância de uma análise e elaboração de projetos de acordo com a necessidade de cada via.

## **2. METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho foram utilizados artigos e livros da literatura nacional e internacional. A pesquisa ocorreu através do Google Acadêmico, Scielo e na plataforma da ABNT disponível na biblioteca digital do Ulife para os alunos da Faculdade AGES.

A escolha dos materiais e normas para a confecção deste trabalho foi realizada por meio de extensa pesquisa bibliográfica, que englobou o acesso a diversas fontes secundárias e informações online. Esse processo foi fundamental para garantir um desenvolvimento teórico e qualitativo eficaz da pesquisa, além disso, uma outra abordagem adotada foi a pesquisa documental, que envolveu a análise de documentos oficiais tanto físicos quanto virtuais de órgãos públicos responsáveis pela gestão da mobilidade, a saber o CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA**

### **3.1 PAVIMENTO**

O pavimento é uma camada colocada sobre uma base de solo para criar uma superfície sólida e durável, adequada para o tráfego de veículos e pedestres. Utilizado em rodovias, ruas, calçadas e aeroportos, os pavimentos são geralmente compostos por asfalto ou concreto. Souza (1980), diz, pavimento é definido como uma estrutura formada após a terraplanagem, e envolve materiais com diversas características de resistência e deformidade.

Pavimento é definido, segundo MEDINA (1997), como uma estrutura composta por várias camadas de diferentes espessuras, construída sobre a superfície de terraplenagem. Esta estrutura é projetada, tanto técnica quanto economicamente, para suportar os esforços gerados pela movimentação de veículos e das condições climáticas, visando proporcionar aos usuários melhorias nas condições de rodagem, oferecendo conforto, economia e segurança.

### 3.2 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

O asfalto é uma estrutura formada por diferentes materiais compactados. Assim, este é realizado na camada de subleito do solo, de forma que atenda estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e com o menor custo possível, considerando horizontes para serviços de manutenção obrigatórios (BALBO, 2007).

O pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada a resistir aos esforços verticais do tráfego e distribuí-los; além de dar melhores condições de rolamento, quanto ao conforto e segurança dos veículos; resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável. A estrutura do asfalto é projetada, em termos estruturais, para receber e distribuir os esforços para aliviar as tensões nas camadas inferiores, que geralmente têm menor resistência (BALBO, 2007).

#### 3.2.1 Materiais da Pavimentação

A camada asfáltica é responsável por permitir o rolamento suave e seguro dos veículos e resistir a parte dos esforços do tráfego. No Brasil, mais de 90% das vias pavimentadas no Brasil são revestidas com materiais asfálticos (BERNUCCI et al., 2008). Seguindo essa linha observa-se que, o revestimento asfáltico é formado basicamente de uma mistura de agregados (fragmentos de rochas) e ligantes asfálticos derivados do petróleo, de forma que os materiais mais utilizados em pavimentação asfáltica são: asfalto, emulsão asfáltica e asfalto diluído, além disso, os ligantes asfálticos podem ser utilizados em outras camadas do pavimento, bem como na camada de revestimento. Vale conceituar que o asfalto é composto de uma boa parte de hidrocarbonetos partindo de 90% e contendo até 10 % de heteroátomos de oxigênio, incluindo também outros Elementos como: enxofre (S) e nitrogênio (N), juntamente com metais de transição, incluindo vanádio (V), níquel (Ni), ferro (Fe), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) - que provém da destilação do petróleo, assim, a composição química do asfalto varia com o tipo de fracionamento ao qual ele é submetido (BERNUCCI et al., 2006).

Na produção de concreto asfáltico, o asfalto é combinado com agregados de granulometria variada sob condições controladas de aquecimento, alcançando uma temperatura de mistura que excede a temperatura do ligante asfáltico por aproximadamente 10°C a 15°C. Esse processo assegura a viscosidade adequada para a mistura e a compactação subsequente. O concreto asfáltico resultante é então aplicado e trabalhado a uma temperatura média de cerca de 150°C, o que facilita a

conformação e a adesão do material, garantindo a durabilidade e a resistência mecânica da pavimentação.

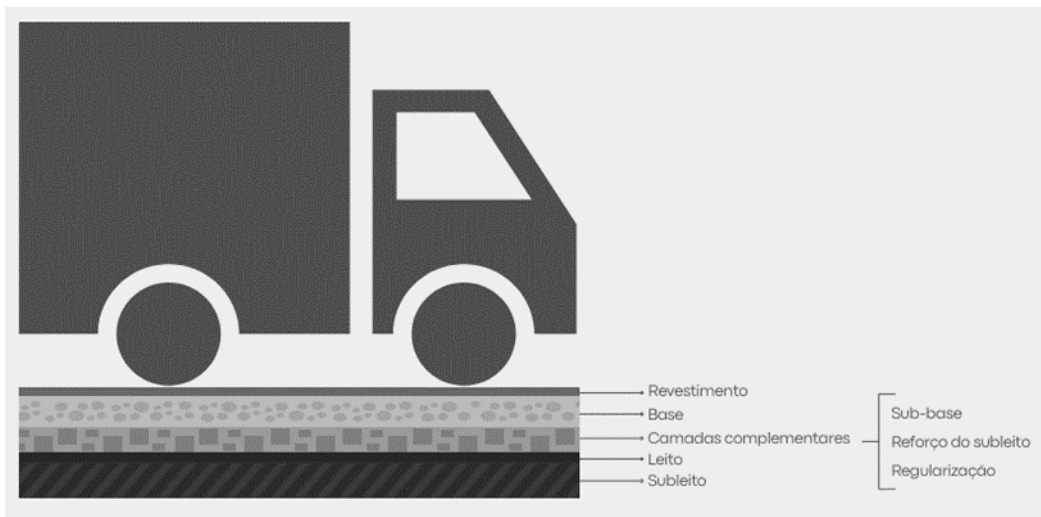
A emulsão asfáltica representa um sistema coloidal onde partículas de betume são dispersas em fase aquosa com a assistência de um agente emulsificante. O processo de emulsificação envolve a homogeneização do asfalto em estado líquido, que é aquecido e atomizado sob alta pressão em um moinho coloidal. Durante essa etapa, ocorre a incorporação de água e um agente tensoativo, que reduz a tensão superficial, permitindo a formação de uma emulsão estável. A concentração do emulsificante na emulsão é crítica e geralmente varia entre 0,2% e 2% em peso, influenciando diretamente a viscosidade e a estabilidade da emulsão. A proporção de asfalto na emulsão é igualmente importante, determinando as propriedades finais do material aplicado pode estar entre 60 e 67% da massa total da mistura. Desse modo, quando a utilização da emulsão asfáltica é feita a frio, é possível observar uma série de vantagens para o processo de pavimentação.

### 3.2.2 Camadas da Pavimentação

De acordo com a pesquisa da (CNT - rodovias e transporte 2023), visando prover segurança ao tráfego nas rodovias. O pavimento deve apresentar resistência adequada aos diversos efeitos climáticos, assegurando integridade estrutural e durabilidade. É imperativo que este proporcione uma superfície que favoreça um deslocamento uniforme e eficiente, minimizando o desgaste dos pneus e a geração de ruído. Além disso, deve exibir capacidade de suportar o tráfego contínuo de veículos sem sofrer deformações significativas. A drenagem eficaz da água superficial é essencial, requerendo um design que promova o escoamento adequado, evitando acúmulo e garantindo a segurança viária para um sistema de drenagem eficiente, e proporcionar boa aderência para evitar derrapagens, A conformidade com os requisitos especificados é intrinsecamente dependente da engenharia da estrutura do pavimento. Essa estrutura deve ser meticulosamente projetada com múltiplas camadas que eficientemente distribuam as cargas aplicadas, restringindo as tensões induzidas e as deformações resultantes. Tal configuração é vital para assegurar a funcionalidade e a longevidade da infraestrutura viária pelo tempo de vida útil previsto em seu projeto. Nesse sentido, as camadas em que se divide o pavimento devem minimizar as trações verticais produzidos pela ação de peso exercida pelo tráfego e, conseqüentemente, oferecer proteção ao subleito.

Ressalta-se que o pavimento deve possuir, no mínimo, duas camadas: o revestimento e a base e, quando necessário, conforme requisitos de projeto, devem ser construídas as camadas complementares à base, como a sub-base, a de reforço do subleito e/ou a camada de regularização. A Figura 01 ilustra, de forma esquemática, a disposição das camadas em pavimentos do tipo flexível.

Figura 01 - Disposição das camadas de pavimento do tipo flexível



Fonte: Confederação Nacional dos Transportes (2005)

Os problemas existentes no Brasil estão relacionados a um desafio crítico na engenharia de pavimentos flexíveis que reside na conformidade com especificações técnicas rigorosas. Isso inclui não apenas a capacidade de suporte estrutural das camadas constituintes, mas também a qualidade superior dos materiais utilizados no revestimento. A falha em atender a esses padrões pode comprometer a integridade e o desempenho do pavimento ao longo do tempo assim, falhas construtivas têm como consequência um processo de deformação mais acelerado, resultando em maiores custos com a reparação desses pavimentos para voltar a atingir condições ideais de tráfego

### 3.2.3 Base e Sub-base

Para mitigar as tensões nas camadas inferiores do solo, são implementadas as camadas de base. Estas não só contribuem para a distribuição de cargas, mas também têm um papel significativo na drenagem do pavimento. Conforme Balbo (2007), quando a superfície de base é necessária para distribuir as cargas é excessivamente espessa, pode ser impraticável por motivos econômicos e de engenharia, assim, introduz-se uma outra etapa sobre a primeira chamada de sub-base. Esta camada é geralmente mais econômica e pode ser composta pelos mesmos materiais utilizados na base.

Os materiais frequentemente utilizados nas camadas de base incluem solos naturalmente estabilizados, combinações de material do próprio local juntamente com os agregados, brita descrita em traço elaborado de maneira bem graduada com tratamento de cimento, solos quimicamente estabilizados com ligantes hidráulicos ou asfálticos, e concretos. Para as camadas de sub-base, é possível empregar materiais similares, e no caso de solos estabilizados quimicamente, a quantidade de ligantes utilizados é reduzida

### 3.2.4 Subleito

A pressão exercida sobre as camadas inferiores do solo será reduzida à medida que se aprofunda, portanto, é crucial prestar mais atenção às camadas superiores, onde as pressões são mais intensas.

O subsolo pode ser composto por material natural compactado e consolidado, quando há escavação para a construção da estrada, ou por material transportado, quando há aterramento. Em certas situações, é necessário fazer aterramento sobre a escavação, especialmente quando o solo não apresenta características adequadas para servir como um bom subleito.

Em geral, uma estrada possui três camadas; de desgaste, base e fundação do pavimento. A primeira precisa ser muito bem-preparada, trazendo conforto, segurança e durabilidade, pois recebe o contato direto com veículos que trafegam pela via. Dessa forma, Santos (2013) define que a menor espessura da camada de desgaste e da base seja de 1 m e a máxima de 2 m. O autor ainda recomenda que não deve ser excedido 1,5 vezes o tamanho máximo das partículas de solo da camada supracitada.

### 3.2.5 Perfil Longitudinal

Um fator importante a ser destacado quando se discute estradas é o perfil longitudinal, que revela os variados níveis de um terreno, evidenciando seus aclives, declives e outros elementos cruciais que influenciam na eficiência de um projeto rodoviário. Com isso, é viabilizado assegurar uma boa condição de visibilidade, drenagem e demais aspectos que facilitam o fluxo do tráfego. Além disso, o perfil longitudinal também permite a implementação de dispositivos de segurança, como barreiras de proteção e sinalização adequada, contribuindo para a redução de acidentes e a promoção da segurança viária.

Por meio de um perfil longitudinal bem planejado e executado, é possível otimizar, não apenas a fluidez do tráfego, mas a estabilidade e a preservação da via.

### 3.2.6 Drenagem

O sistema de dreno tem a função de coleta, transporte e condução de águas pluviais de maneira eficiente, evitando que se acumule na superfície da estrada e cause danos estruturais ou problemas de segurança. Silva (2008), enfatiza que a água é uma grande inimiga do pavimento. Segundo o autor, a infiltração pode alterar as características das camadas do solo e diminuir a capacidade de resistência.

Segundo o Departamento de Proteção Ambiental de Massachusetts (MDEP, 2001), aproximadamente 80% dos problemas na pavimentação de estradas estão relacionados a drenagem. A falta de drenagem pode causar sérios problemas às estradas como erosão e perda da capacidade de suporte, entretanto, apesar de causar vários problemas relacionados a drenagem, a água tem um papel importante ao se falar de compactação do solo, enfatiza o MDEP (2001).

O sistema de drenagem de uma estrada deve ser dimensionado partindo de um estudo local a respeito da pluviosidade, tráfego zonal e das características do solo (Santos, 2013). Ademais, Santana (2006) completa afirmando que o dimensionamento e aplicações dos métodos de drenagem devem garantir o escoamento da água para plataformas de captação como sarjetas, valetas, entre outros.

Para Santos et al. (1985), a falta de drenagem, junto a circulação de veículos em estradas empoçadas, são os fatores que causam os buracos. O autor explica que, quando o veículo tem contato frequente com a parte da via mal drenada, ocorre a

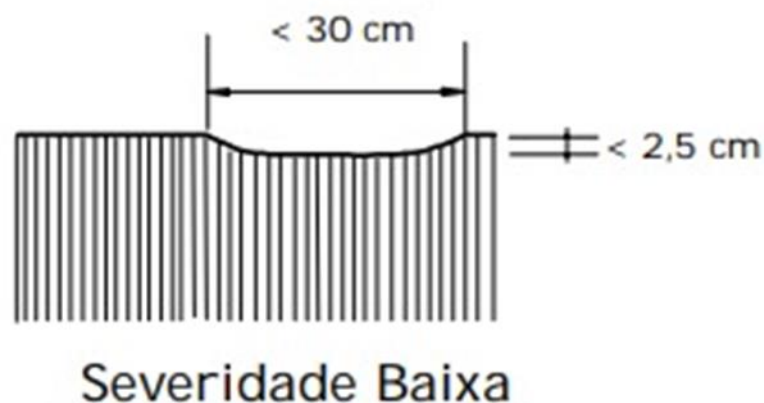
expulsão de partículas sólidas da camada do leito que, junto a água, fazem surgir erosões no pavimento.

### 3.2.7 Buracos

Os buracos em estradas representam um desafio contínuo para a infraestrutura das rodovias, exigindo uma abordagem que inclua manutenção preventiva, melhoria dos sistemas de drenagem e utilização de bons equipamentos.

O fluxo intenso de veículos, especialmente pesados, exerce pressão sobre a superfície da estrada, causando desgaste gradual e formação de cavidades, dessa forma, o sistema de referenciamento RSMS (1991) avalia a qualidade da estrada de acordo com o tamanho do buraco e sua severidade, que é classificada com base em sua profundidade, diâmetro e o impacto na segurança e conforto da condução. A severidade baixa (figura 2) é caracterizada por buracos com profundidade abaixo de 2,5 cm e diâmetro de até 30 cm, segundo a RSMS (1991).

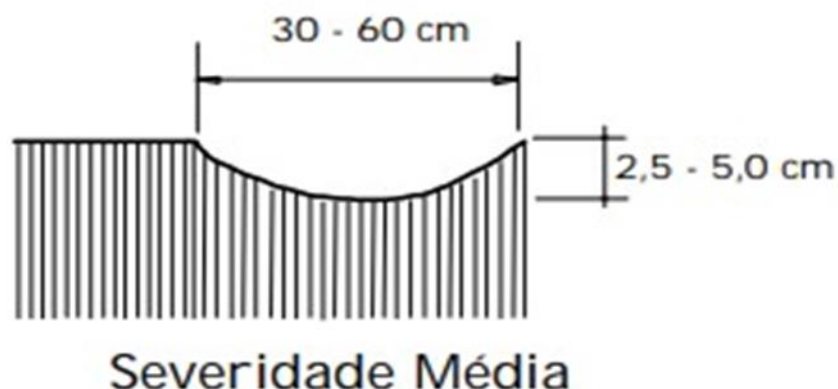
Figura 02 – Nível de severidade baixa



Fonte: Road Surface Management System (1991)

A severidade média é dada quando um buraco possui entre 2,5 e 5 cm, com diâmetro de até 60 cm, como exposto na figura abaixo.

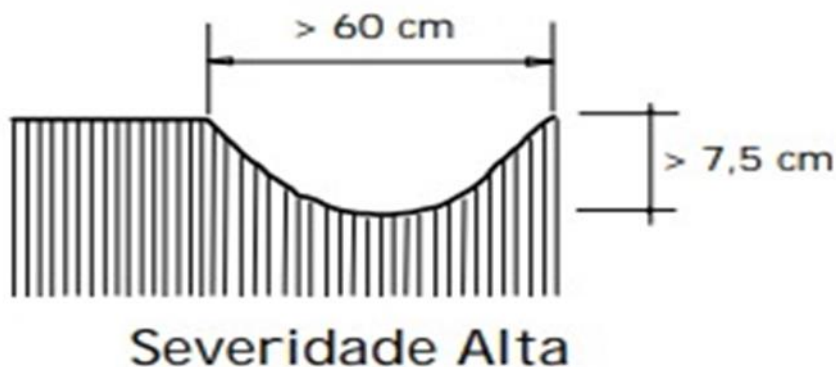
Figura 03 – Nível severidade média



Fonte: Road Surface Management System (1991)

Já o nível alto de severidade é constatado a partir de crateras com profundidades acima de 7cm e com diâmetro maior que 50 cm, como mostra a figura 04. Este nível representa um perigo significativo a segurança, com alto risco de causar danos graves aos veículos e potencial para acidentes.

Figura 04 – Nível de severidade alta



Fonte: Road Surface Management System (1991)

No Brasil, apenas 12,4 % de suas estradas são pavimentadas, isso significa que há deficiência de modo que a manutenção de suas rodovias. A figura abaixo expõe que, além do Brasil, a falta de pavimentação é um problema existente na maioria dos países da América do Sul, onde o mais pavimentado (Venezuela) obtém apenas 44% em pavimentação

Tabela 01 - Porcentagem de estradas que não possuem pavimentos na América do Sul

Continentes/Subcontinentes	País	Estradas NÃO Pavimentadas (%)
América do Sul (84%)	Argentina	70
	Bolívia	85
	Brasil	87
	Equador	85
	Paraguai	85
	Uruguai	90
	Venezuela	66

Fonte: adaptado de CIA.gov (2015)

Considerando o grande número de obras em rodovias brasileiras que precisam ser implementadas ou restauradas, uma pesquisa da CNT, revelou que 61,8% das rodovias brasileiras estão em condições "regulares", "ruins" ou "péssimas". Este cenário ressalta a necessidade urgente de investimentos significativos em infraestrutura para melhorar a qualidade das estradas, promover a segurança no trânsito e impulsionar o desenvolvimento econômico.

A má condição das rodovias impacta negativamente, não apenas a eficiência do transporte de mercadorias, mas também a mobilidade dos cidadãos, aumentando os custos logísticos e o risco a segurança do condutor. Santos (2013) enfatiza que, no Brasil, existem apenas dois materiais relacionados a pavimentação, sendo eles o Manual Técnico de Conservação e Recuperação de Estradas de Terra e a Conservação de Estradas Não - Pavimentadas – publicada pelo DNER (1981). Estes materiais são utilizados para auxiliar municípios quanto a reforma, recuperação e manutenção dessas estradas, entretanto, sabe-se que, em muitos casos, os municípios não possuem profissionais especializados para realizar os procedimentos técnicos necessários e, com isso, os problemas com pavimentação são intensificados.

O sistema de gerenciamento de pavimentos é uma ferramenta essencial de auxílio nas etapas que buscam manter a pavimentação em boas condições para realização de serviços (Ferreira et al., 2011).

Estradas não pavimentadas geralmente são construídas ou, muitas vezes formadas, sobre solos ruins, fazendo com que ocorram deformações. Esse aspecto faz com que, futuramente, custos adicionais sejam empregados na manutenção; além disso, outro problema comum é a dificuldade em trafegar sob más condições.

No processo de construção e pavimentação de uma estrada, o solo local é geralmente utilizado - se possuir as características necessárias para o processo-. É essencial a compactação do solo utilizado para permitir o tráfego e boas condições de mobilidade. Santos (2013) afirma que, se o solo for heterogêneo, a camada principal, caso apresente condições inadequadas, deve ser preenchida com o solo de melhor qualidade, pois esta será mais afetada com o tráfego.

### 3.2.8 Cuidados e Manutenção em Rodovias

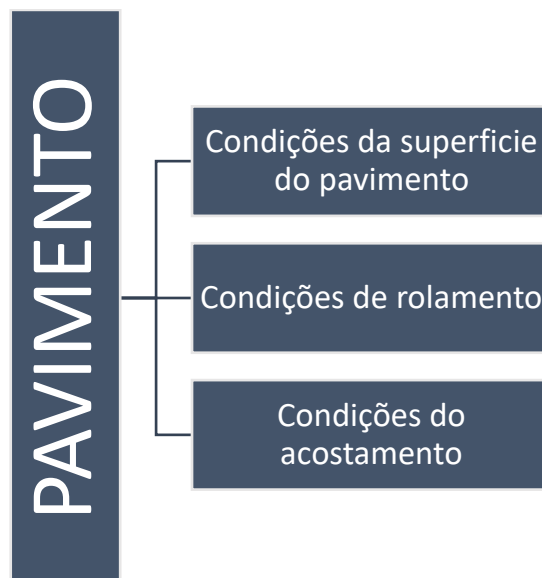
A execução de manutenções periódicas constitui um elemento crítico para a preservação da funcionalidade e da integridade estrutural de pavimentos. Anomalias superficiais, tais como defeitos e irregularidades, exercem influência direta sobre os custos operacionais inerentes aos veículos que transitam pela via. Isso se deve ao incremento nos gastos relacionados à manutenção veicular, bem como ao prolongamento dos intervalos de viagem. (CNT- PESQUISA DE RODOVIAS,2023)

HUDSON (1991) afirma que a qualidade da viagem deve ser analisada sob dois aspectos: o primeiro diz respeito à condição atual da superfície da rodovia, enquanto o segundo envolve a análise de informações para direcionar intervenções de engenharia. Este último aspecto inclui a avaliação mecânica da estrutura, fundamental para estimar o desempenho estrutural do pavimento

Adicionalmente, o estado que pavimento se encontra é um fator determinante no que tange à segurança viária, haja vista que superfícies de rolamento deterioradas caracterizadas por depressões, ondulações e buracos podem comprometer a estabilidade dos veículos. Essa condição adversa aumenta a probabilidade de desvios involuntários da trajetória planejada, potencializando o mais alto grau risco de acidentes decorrentes de manobras abruptas ou da perda de controle do veículo. Diante dessas considerações, o projeto de pavimentos representa um desafio significativo, demandando a concepção de uma estrutura que atenda a todos os requisitos estruturais e funcionais estabelecidos.

A gestão eficaz da manutenção de pavimentos é essencial, conforme evidenciado por estudos que destacam a importância da A avaliação periódica e manutenções estruturais e funcionamento dos pavimentos nas rodovias é essencial para a manutenção da infraestrutura viária. Utiliza-se uma série de modelos de desempenho avançados para projetar as condições futuras do pavimento, permitindo a identificação precisa dos momentos críticos para intervenção. Esses modelos são fundamentais para determinar os tipos de manutenção e os períodos mais adequados para sua execução, garantindo a otimização dos recursos e a longevidade do pavimento. De intervenções necessárias e a elaboração de programas de manutenção. Levando em conta os conceitos mencionados, para a caracterização do Pavimento incluem o estado das camadas do pavimento, junto as condições de rolamento e a integridade do acostamento. Estas são avaliadas conforme ilustrado na figura correspondente. (CNT- PESQUISA DE RODOVIAS,2023)

Figura 05 – ANÁLISE DE CUIDADOS E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS



Fonte: Adaptado de CNT (2005)

### 3.2.9 CONDIÇÕES DO PAVIMENTO

O método de avaliação da superfície do pavimento envolve uma inspeção detalhada do estado de conservação do revestimento asfáltico. Essa análise é fundamental para determinar o impacto na qualidade de rodagem, conforto e segurança dos usuários. São utilizadas métricas específicas para avaliar a textura, aderência, regularidade superficial e presença de defeitos, como trincas e buracos, que podem comprometer a dirigibilidade e aumentar o risco de acidentes. Textura Superficial: Avaliada para determinar a macro e microtextura, essenciais para a aderência dos pneus e escoamento da água.

Aderência: Medida através de ensaios de atrito para assegurar que o pavimento oferece a resistência necessária contra derrapagens.

Regularidade Superficial: Utilizada para quantificar a uniformidade da superfície através de índices como o IRI (Índice de Irregularidade Internacional).

Defeitos Visíveis: Identificação e quantificação de trincas, buracos, deformações plásticas e outros danos que impactam a segurança e conforto dos usuários.

O design do pavimento é projetado para suportar um período de serviço específico, conforme estipulado na fase de projeto. Durante sua vida útil, o pavimento degrada-se progressivamente de um estado inicial ideal para condições deterioradas, a menos que intervenções de manutenção sejam realizadas. A redução gradual da condição do pavimento é indicativa do processo de degradação Impactos da Conservação do Pavimento:

Qualidade da Rodovia: O estado de conservação das camadas do pavimento é um indicador visível da qualidade da rodovia.

Conforto ao Trafegar: Superfícies bem mantidas garantem uma experiência de condução mais suave e confortável.

Segurança: Pavimentos em boas condições reduzem os riscos de acidentes.

Vida Útil dos Veículos: Rodovias bem conservadas minimizam o desgaste dos componentes dos veículos.

Defeitos superficiais em pavimentos asfálticos, tais como danos e deteriorações visíveis, são avaliados visualmente e documentados por especialistas em campo, segundo a pesquisa realizada no ano anterior pelo (CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE, 2023); as principais irregularidades nos revestimentos asfálticos consideradas nesta pesquisa são: rachaduras, buracos e trincas em ambas as direções tanto nos perfis (transversais, longitudinais e em malha), corrugação, exsudação, desgaste, desagregação, remendos, afundamentos, ondulações e buracos. A figura abaixo mostra a análise de cada etapa mencionada acima.

Tabela 02 - análise de condições

Condição do Asfalto	Detalhe
Desgastado	O pavimento apresenta sinais de desgaste, com efeito de desagregação progressiva do agregado da massa asfáltica e aspereza superficial no revestimento e/ou observa-se a presença de corrugação e/ou exsudação. Nesta classificação, percebe-se a perda do mástique nos agregados (falta de interação do agregado com o ligante asfáltico ou o mesmo que falta de adesividade), porém não há buracos. Também pode haver isoladamente fissuras e trincas transversais ou longitudinais, remendos bem executados e trincas seladas
Trincas em malhas/remendo	Observa-se a presença de trincas em malhas e/ou remendos mal executados. As trincas em malha são interligadas e subdivididas em trincas dos tipos "bloco" e "couro de jacaré". As trincas em blocos são decorrentes da alternância diária de temperatura. Normalmente, não é um defeito associado à carga, embora esta possa aumentar sua severidade. Já as do tipo "couro de jacaré" consistem em trincamentos por fadiga e ocorrem em áreas sujeitas à carga repetida de tráfego por subdimensionamento da estrutura ou de uma das camadas do pavimento e quando o pavimento está sinalizando o final de sua vida útil. O remendo está relacionado a um defeito por apontar um local de fragilidade na superfície do pavimento. Caracteriza-se pelo preenchimento de buracos ou de qualquer outra cavidade ou depressão com massa asfáltica. Neste caso estão incluídos apenas os remendos mal executados (sem a devida remoção da camada anterior do revestimento e seu correto preenchimento e nivelamento), que geram trepidação no veículo.
Afundamentos/ Ondulações/ Buracos	O pavimento pode apresentar tais defeitos em conjunto ou isoladamente. Os afundamentos são deformações permanentes no revestimento asfáltico ou em suas camadas de subjacentes. Podem ser afundamentos locais ou trilhas de roda. Os afundamentos são depressões ocasionadas pelo tráfego intenso de veículos, além da combinação do excesso de carga de veículos pesados e a elevada temperatura, em regiões mais quentes. Pode ocorrer também o escorregamento da massa asfáltica ao longo da borda desse

	<p>pavimento. As ondulações são deformações transversais ao eixo da pista, diferenciadas da corrugação pelo comprimento de onda, que é a da ordem de metros. Os buracos são cavidades no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes. Na pesquisa, os buracos são classificados nesta categoria quando encontrados em pequenas quantidades, mas de maneira contínua e predominante.</p>
--	--

Fonte: adaptado do CNT (2023)

### 3.3 Rolamento

De acordo com (VIEIRA S.A,2016), a avaliação técnica da condição de rolamento do pavimento é um processo que determina o impacto da superfície do pavimento na eficiência e segurança do tráfego rodoviário. Esta avaliação quantifica fatores como a presença de vibrações e o desconforto resultante para os condutores, bem como a necessidade de que os veículos tenham que reduzir a velocidade de modo que devido a defeitos nas camadas do pavimento. Essa análise é realizada em alinhamento com as avaliações funcionais do pavimento, incluindo o Valor de Serventia Atual (VSA) e o Índice de Irregularidade Internacional (IRI), que são indicadores críticos da forma que o pavimento esteja em boas condições de rodagem.

#### 3.3.1 Sinalização em Rodovias

A sinalização viária é um componente essencial para a segurança em estradas, tornando-se ainda mais crucial com o aumento do tráfego. Os sinais de trânsito, que incluem sinalização vertical e horizontal, dispositivos auxiliares, semáforos, sinalização que indiquem obras na estrada e gestos, têm como objetivo fornecer informações sobre regulamentos, instruções e dados essenciais para garantir uma condução adequada e pacífica aos veículos.

A sinalização rodoviária é projetada para comunicar informações críticas aos motoristas de maneira oportuna, abrangendo precauções de segurança, direções e uso adequado das faixas de tráfego. Isso leva em conta o tempo de reação necessário para decisões seguras, de modo que a sinalização, tanto horizontal quanto vertical, deve ser implementada respeitando as distâncias seguras com visão predefinidas, destacando locais potencialmente perigosos e outros fatores críticos.

Os sinais são uniformizados para induzir respostas consistentes dos motoristas em situações similares, garantindo a transmissão de mensagens claras e imediatamente compreensíveis, eliminando margens para interpretações divergentes. Portanto, a sinalização deve ser visível e legível, com significados precisos e sem ambiguidades, para orientar motoristas não familiarizados com a via

Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I, para ser eficaz, a sinalização deve seguir princípios de legalidade, suficiência, padronização, clareza, precisão, visibilidade, legibilidade, manutenção e conservação. Para cumprir esses princípios, é necessária a implementação adequada e a manutenção constante. Consoante ao Código de Trânsito Brasileiro (CTB), especificamente no artigo 88, estabelece-se a premissa de que vias pavimentadas não podem ser disponibilizadas para uso subsequente à construção ou reabertas ao tráfego pós-manutenção sem a devida implementação de sinalização vertical e horizontal. Esta medida visa garantir

condições seguras de trânsito. Desconsiderar tal mandato resulta em penalidades durante avaliações como a da Pesquisa CNT de Rodovias, devido ao comprometimento da segurança dos usuários. Segundo a CNT (2023), além da sinalização mencionada, dispositivos auxiliares de segurança, como barreiras de proteção, são essenciais para mitigar as consequências de colisões e prevenir que veículos adentrem zonas de risco.

Adicionalmente, o Anexo II do CTB delinea que a sinalização horizontal é composta por linhas, marcações, símbolos e legendas aplicados ao pavimento. Esta forma de sinalização é estratégica para a organização do trânsito de veículos e pedestres, fornecendo controle e orientação em áreas com desafios geométricos, topográficos ou presença de obstáculos. É complementar aos sinais verticais e deve ser visível dentro do campo de visão dos condutores, evitando distrações e facilitando a interpretação. A propriedade retro refletiva é crucial para assegurar visibilidade em condições noturnas.

Segundo o Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT, a sinalização vertical consiste em um conjunto de sinais de trânsito implementados por meio de elementos visuais, como placas, painéis ou dispositivos complementares, dispostos verticalmente ao longo das vias ou suspensos acima delas. Esses sinais têm o objetivo de regulamentar, advertir e auxiliar os usuários da via, contribuindo para a segurança e eficiência do tráfego. A sinalização vertical informa sobre limites de velocidade, restrições de trânsito, direções e condições específicas das vias, garantindo uma condução mais segura e organizada.

A sinalização vertical transmite informações constantes ou, em alguns casos, variáveis, por meio de ícones e/ou inscrições definidos por legislação. Suas principais funções incluem a regulamentação do uso das vias, a prevenção de acidentes ao alertar os condutores sobre perigos iminentes, e a provisão de orientações sobre direções, localizações e serviços, facilitando a locomoção de motoristas e pedestres.

Portanto, a sinalização vertical fornece dados essenciais que promovem comportamentos apropriados dos motoristas, contribuindo significativamente para a segurança viária. Esses elementos visuais orientam motoristas e pedestres sobre regras de trânsito, condições das vias e possíveis perigos, ajudando a prevenir acidentes e facilitando a fluidez do tráfego. Ademais, a sinalização vertical possui um papel importante na comunicação de informações temporárias, como desvios e obras, garantindo que todos os usuários estejam cientes das mudanças e possam ajustar sua conduta adequadamente.

#### **4. RESULTADOS E DISCURSÕES**

O estudo destacou a importância da estrutura do pavimento, composta por diversas camadas que distribuem as cargas e limitam as tensões e deformações, garantindo um desempenho adequado ao longo de sua durabilidade. Essa pesquisa também ressaltou a necessidade de verbas a serem investidas de forma significativa em infraestrutura para melhorar a qualidade das estradas, tendo em vista promover a segurança no trânsito e impulsionar o desenvolvimento econômico. Em suma, a análise evidencia a complexidade e a urgência de soluções abrangentes para os desafios enfrentados pela pavimentação de estradas no Brasil.

Um dos pilares é a sinalização viária como elemento fundamental para a segurança e eficiência do trânsito, ela não serve apenas para comunicar regras e diretrizes cruciais para os condutores, tem como base também garantir que as

decisões sejam tomadas de forma segura e informada. A padronização e clareza dos sinais são vitais para evitar confusões e garantir que mesmo aqueles que não estão familiarizados com uma determinada via possam navegar com segurança. A legislação brasileira reconhece a grande importância da sinalização adequada, exigindo que todas as vias sejam devidamente sinalizadas antes de serem abertas ao público, no entanto, a realidade muitas vezes mostra uma lacuna entre a regulamentação e sua aplicação prática, destacando a necessidade de vigilância e manutenção contínua para assegurar que os padrões de sinalização sejam atendidos e mantidos, contribuindo assim para a segurança de todos os que irão fazer uso da via.

Baseado na pesquisa da mesma se observou outro problema, como sistema de drenagem é um componente crítico na infraestrutura rodoviária, desempenhando um papel essencial na preservação da integridade do pavimento e na segurança dos ocupantes dos veículos que passem por essas estradas. A eficácia da drenagem é diretamente responsável por mitigar os efeitos prejudiciais da água, que, se não controlada, pode levar a danos estruturais significativos e comprometer a funcionalidade da via, portanto, é imperativo que o dimensionamento e a manutenção dos sistemas de drenagem sejam realizados com base em estudos detalhados e práticas de engenharia sólidas, assegurando que as estradas permaneçam seguras e transitáveis, independentemente das condições climáticas. A atenção contínua à drenagem adequada é, sem dúvida, um investimento na longevidade das estradas e na segurança de todos que nelas viajam.

A pesquisa sobre os pavimentos de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) das rodovias brasileiras é de extrema importância para entender e melhorar as condições de rodagens e segurança nas estradas do país. A avaliação abrangente das características das camadas pavimentadas nas rodovias, incluindo pavimento, sinalização tanto com placas como pinturas de faixas e sua geometria das vias, permite identificar áreas críticas que necessitam de atenção e melhorias. Com base neste levantamento, é possível desenvolver estratégias eficazes para a manutenção e otimização da infraestrutura rodoviária, assegurando uma experiência de condução mais segura e eficiente para todos os usuários. Além disso, os resultados desta pesquisa fornecem subsídios para o planejamento de políticas públicas e futuros investimentos em transporte, reforçando o compromisso com a qualidade das vias. Dessa forma, garante-se a segurança necessária para todos os usuários em todo o território nacional.

## **CONCLUSÕES**

O intuito desse estudo voltado a pavimentação e utilização de cimentos asfálticos como CBUQ em boa parte das estradas brasileiras revela um cenário complexo, com desafios estruturais e operacionais como também destaque na pesquisa em termos econômicos. A vasta extensão territorial do Brasil, combinada com seu relevo variado e concentração populacional predominantemente litorânea, resultou em uma extensa malha rodoviária, no entanto, apenas uma pequena parcela dessas estradas é pavimentada, o que acarreta custos operacionais elevados e impactos econômicos adversos. O estudo acima trouxe como visão expor e explicar sobre o ápice do desenvolvimento rodoviário que ocorreu com o crescimento da indústria automobilística, entretanto, a falta de investimento ocasionou à deterioração das estradas. Tanto por abandono como descaso de manutenção.

Em suma, a má conservação e elaboração de projetos inadequados e fiscalização deficiente contribuíram para o aumento dos acidentes e dos custos previdenciários. Essa pesquisa trouxe em pauta alguns exemplos sobre como aumenta a segurança das vias como também a sua resistência ao desgaste. Para permitir uma longa durabilidade das rodovias, é fundamental que o pavimento atenda a uma série de requisitos, sendo estes sendo executados e fiscalizados da maneira correta para atender os seguintes requisitos sendo esses a resistência às condições climáticas, desgaste mínimo dos pneus, boa aderência e eficiente drenagem de água.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Oficina de Textos, 2015.

BERNUCCI, Liedi Bariani; et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006

Central Intelligence Agency (CIA). "The World Factbook." 2015. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>. Acesso em: 25 de junho de 2024

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; DE REIS, Rafael Marçal Martins. Manual de **microrrevestimento asfáltico** a frio. Oficina de Textos, 2011.

CNT. Pesquisa Rodoviária - **Relatório Gerencial. Brasília: Confederação Nacional do Transporte**, 2005. Disponível em: < [www.cnt.gov.br](http://www.cnt.gov.br)>. Acesso em: 29 mai. 2024.

COLARES, LILIANE GALVÃO. Concessão Administrativa: **gerenciando a manutenção de rodovias por parâmetros de desempenho**. Revista de Administração Pública, v. 39, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA (Org.). EDITORIAL: **Uma potência negligenciada**. 2017.

Confederação Nacional dos Transportes, p. 101-116, 2002. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Sinalização Rodoviária**. Brasília: DNIT, 2021. p. 34.

HUDSON, W. R. (1991). **“Are pavements built for the user?”** In: ASTM.

MEDINA, J. (1997). **“Mecânica dos Pavimentos”** Ed. UFRJ, Rio de Janeiro -RJ.

RODOLFO, Marcos Paulo; BALBO, José Tadeu. **Modelagem de tensões em pavimentos de concreto submetidos a gradientes térmicos e cargas rodoviárias**.

RSMS. Road Surface Management System, 1991. Technology Transfer Center the Hampshire, Department of Civil Engineering, Durham, New Hampshire

SANTANA, L. A. F. **Proposta de composição de custos unitários e orçamentos de serviços em vias não-pavimentadas (2006)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

SOUZA, M. L. **Pavimentação Rodoviária**. Rio de Janeiro: LTC, 1980. Standardization News. V.19, n.22, p. 42-51. fevereiro.

VIEIRA, S. A.; PINHO JÚNIOR, A. A. E.; OLIVEIRA, F. H. L.; AGUIAR, M. F. P. **Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI**. Conex. Ci. e Tecnol., Fortaleza/CE, v. 10, n. 3, p. 20 - 30, nov. 2016.