

Pavimentação das rodovias no Brasil

*Fábio Cardoso Junior*¹

*Aniel de Melo Dias*²

Recebido em: 28.11.2023

Aprovado em: 18.12.2023

Resumo: O Transporte Rodoviário de Cargas (TRC) no Brasil foi responsável pelo escoamento de 485.625 milhões de toneladas por quilômetro útil, empregando mais de um milhão e meio de pessoas em 2016, porém, sendo uma atividade de grande importância para o desenvolvimento do país, há inúmeros desafios que precisam ser superados como a falta de fiscalização, deficiência estrutural, insegurança nas vias, altos custos, frota envelhecida, emissão de gases poluentes e o excesso de velocidade que também se tornam situações de risco para os acidentes (CNT, 2019). Há de se destacar, também, a falta de segurança nas rodovias brasileiras devido à não correção de problemas essenciais como é o caso da pavimentação dessas rodovias que, muitas vezes, apresentam problemas graves em sua estrutura que prejudicam o transporte de cargas e de veículos de pequeno porte. Esse problema seria resolvido com sucesso se fosse realizado um trabalho intenso de pavimentação utilizando o tipo que mais se adequa às necessidades das rodovias, ou seja, o pavimento flexível ou o de concreto (PEREIRA, 2019). Assim, é interessante que a empresa tenha um projeto de pavimentação consistente que possa atender às necessidades dos motoristas, considerando pontos importantes tais como o número de veículos, o peso das cargas que são transportadas e outros de forma que o trabalho possa apresentar um trabalho que vá de encontro às necessidades da população que trafegam pelas rodovias federais e estaduais de todo o país (SANTOS, 2019).

Palavras-chave: rodovias; pavimentação; normas regulamentadoras.

Paving highways in Brazil

Abstract: Road Cargo Transport (TRC) in Brazil was responsible for the flow of 485.625 million tons per useful kilometer, employing more than one and a half million people in 2016, however, being an activity of great importance for the country's development,

¹ Discente do curso Engenharia de Agrimensura e Cartografia da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais.

² Revisor. Graduação em Engenharia de Produção Civil e Mestrado em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, especialização em Gestão Ambiental pela Universidade Cândido Mendes e especialização em Gerenciamento de Projetos pela FGV.

there is numerous challenges that need to be overcome, such as the lack of inspection, structural deficiencies, unsafe roads, high costs, an aging fleet, emission of polluting gases and excessive speed, which also become risk situations for accidents (CNT, 2019). It is also worth highlighting the lack of safety on Brazilian highways due to the failure to correct essential problems such as the paving of these highways, which often present serious problems in their structure that hinder the transport of cargo and vehicles. small size. This problem would be successfully resolved if intense paving work were carried out using the type that best suits the needs of highways, that is, flexible or concrete pavement (PEREIRA, 2019). Therefore, it is interesting that the company has a consistent paving project that can meet the needs of drivers, considering important points such as the number of vehicles, the weight of the loads that are transported and others so that the work can present a work that meet the needs of the population traveling on federal and state highways across the country (SANTOS, 2019).

Keywords: highways; paving; regulatory standards.

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação das rodovias é um momento muito importante para o desenvolvimento de um país, entretanto é preciso lembrar que é necessário a confecção, primeiramente, de um projeto consistente no qual há a determinação clara do uso de um pavimento que implica menos custos e menos gastos com a manutenção. Assim, é preciso realizar levantamentos que possam elucidar a seguinte dúvida: qual tipo de pavimento é menos oneroso para o país? Qual tipo possui uma vida média maior levando em consideração as atividades de manutenção e conservação das rodovias?

Sendo assim, o objetivo geral com este estudo é identificar os parâmetros necessários para a escolha correta do tipo de pavimentação a ser empregada em uma rodovia de forma a diminuir os custos da obra. Em profundidade, os objetivos específicos são: Expor sobre os tipos de pavimentação de estradas ressaltando os custos de cada uma; descrever as características de cada tipo de pavimentação; relacionar o tipo de pavimentação com os custos, tempo de vida e ações de manutenção e conservação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações sobre a importância das rodovias para o desenvolvimento do país

O Transporte Rodoviário de Cargas (TRC) no Brasil foi responsável pelo escoamento de 485.625 milhões de toneladas por quilômetro útil, empregando mais de um milhão e meio de pessoas em 2016, porém, sendo uma atividade de grande importância para o desenvolvimento do país, há inúmeros desafios que precisam ser superados como a falta de fiscalização, deficiência estrutural, insegurança nas vias, altos custos, frota envelhecida, emissão de gases poluentes e o excesso de velocidade que também se tornam situações de risco para os acidentes (CNT, 2019).

O excesso de velocidade, por exemplo, tem sido considerado uma das causas principais para os acidentes nas rodovias brasileiras. Dados apresentados pelo Anuário Estatístico da Polícia Rodoviária Federal (PRF), em 2021, demonstram que foram registrados 6.741 acidentes nas rodovias federais tendo como causa principal o excesso de velocidade o que causou 675 mortes e 7.857 feridos (PRF, 2021).

Nesse sentido, é preciso que as empresas passem a considerar o gerenciamento dos veículos como um importante aliado no sistema logístico de transporte rodoviário de carga tendo a gestão de frotas como a área responsável por essa atividade dentro das empresas (MOURA e ANDRADE, 2021).

De acordo com dados apresentados pelo Registro Nacional de Infrações de Trânsito (RENAINF) que é coordenado pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), o excesso de velocidade é uma das causas principais de acidentes com vítimas fatais ou feridos (CZERWONKA, 2021).

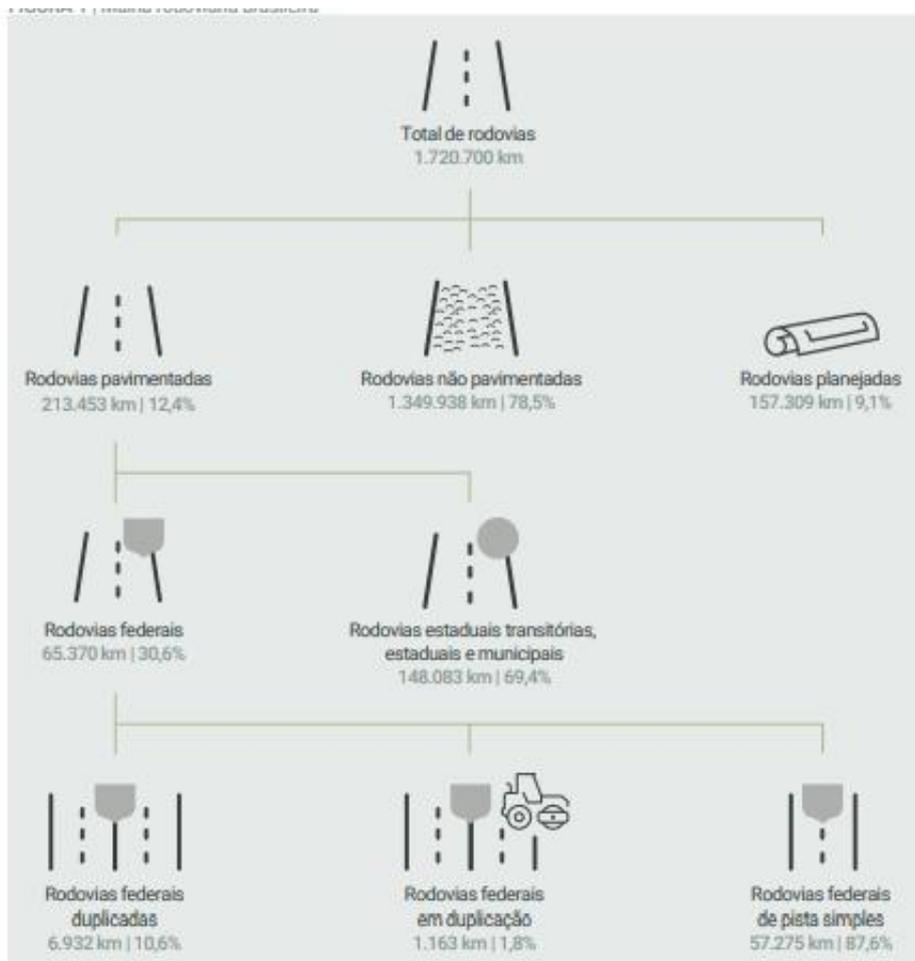
No entanto, um dos maiores problemas está relacionado à estrutura das rodovias brasileiras. Diversos países como Estados Unidos, Rússia, Canadá e Austrália têm grandes preocupações com a conservação e manutenção dos meios de transportes viários, hidroviários, aéreo e ferroviário, para que estes possam receber um fluxo de carga em tempo hábil, com pouco gasto em combustível, favorecendo à qualidade dos transportes e, ao mesmo tempo, evitar acidentes e mortes (MAGALHÃES e SILVA, 2018).

Enquanto isso, no Brasil, dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2017), o transporte de cargas no Brasil é realizado pelo Centro de Estudos em Logística da referida confederação demonstraram que 61,8% das estradas brasileiras apresentam deficiências diversas e muitas são classificadas em 33,6% regular, 20,1% ruim e 8,1% péssimo, com 52.911 km apresentando problemas diferenciados sendo 50% na pavimentação e destes 34% foram classificados como regular, 13,2% ruim, 2,8% péssimo.

As diferenças são maiores quando se trata de estradas concedidas para a iniciativa privada e as de gestão pública. Nas rodovias concedidas à iniciativa privada cerca de 86,7% são classificadas como ótimas ou boas, 11,5% ruins e 1,8% péssimas. Já as rodovias que estão sob os cuidados da gestão pública a avaliação foi bastante diferente, pois, 27,8% são consideradas ótimas; 37,6% péssimas; 34,6% ruins (CNT, 2017).

Segundo dados da CNT (2018), a malha rodoviária brasileira pode ser analisada a partir das características apresentadas na figura 1.

Figura 1: Malha rodoviária brasileira



Fonte: CNT, 2018.

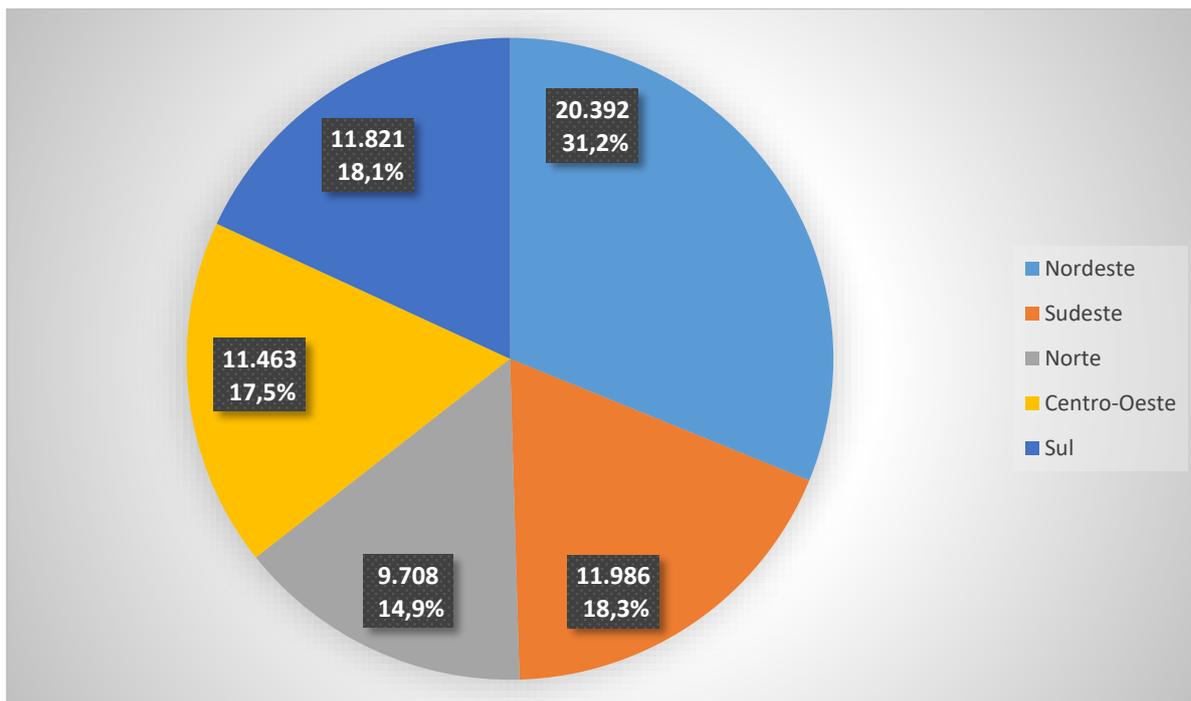
A análise da figura acima demonstra que apenas 213.453 km de rodovias brasileiras são pavimentadas, o que corresponde a 12,4% do total, um número bastante pequeno quando se verifica que o transporte de cargas no Brasil é realizado quase que inteiramente por rodovias espalhadas por todo o país. Em contrapartida, 78,5% não possuem pavimentação de um total de 1.720.700 km de rodovias existentes no país, sendo 30,6% federais e o restante estaduais, estaduais transitórias e municipais.

Quanto à apresentação das características e qualidade das rodovias, pode-se dizer que rodovias públicas, 94,3% dos trechos analisados são compostos por pistas simples de mão dupla; 0,6%, por pistas duplas com canteiro central; 1,3%, por pistas duplas com barreira ou faixa central; e 0,2%, por pistas simples de mão única. 49,2% das rodovias têm acostamento, enquanto 50,8% não contam com esse recurso. Além disso, nestes 49,2%, apenas 87,3% destes possuem pavimento perfeito. Em 17,6% da extensão

avaliada não foram identificadas placas de advertência nem estruturas de proteção lateral suficientes. Em 26,8% dos casos, há placas ilegíveis ou desgastadas (CNT, 2017, p. 339).

Essa é uma situação que pode ser verificada em todas as regiões brasileiras como demonstrado na figura 2.

Figura 2: Percentual de extensão de rodovias federais pavimentadas por região



Fonte: CNT, 2018.

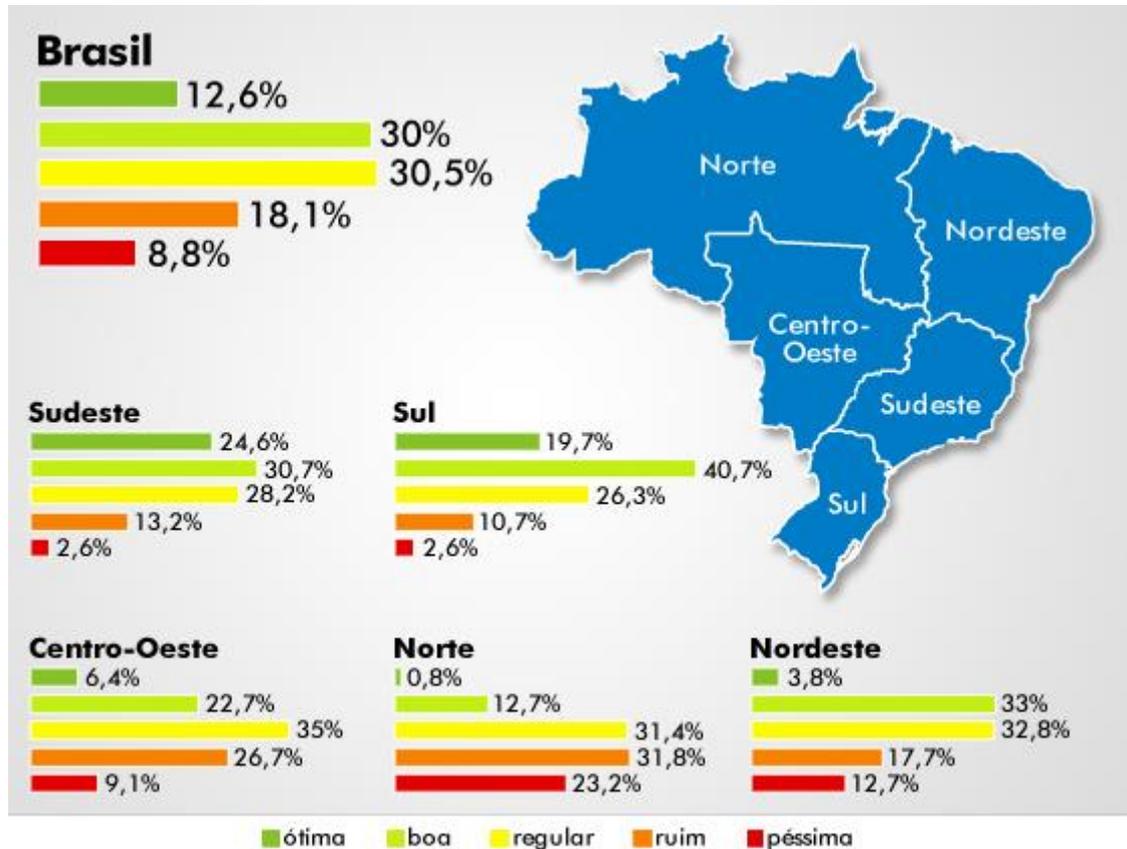
Observa-se que a região com maior índice de malha federal pavimentada é a região nordeste (31,2%), seguida pelo Sudeste (18,3%), sul (18,1%), Centro-Oeste (17,5%) e Norte (14,9%).

Essa situação ainda é favorável porque são rodovias federais, já em relação às rodovias estaduais, a situação é bastante diferente e, dessa forma, a CNT (2018) apresenta um relatório sobre a qualidade das rodovias brasileiras em todas as regiões em que classificou as condições dessas rodovias em ruim péssimas, regular, boa ou ótima.

Conforme apresentado na Figura 3, a região Norte é a que possui o maior índice considerado péssimo, seguida pelas regiões Nordeste, Centro Oeste, Sul e Sudeste que,

respectivamente, apresentam números expressivos como 12,7%; 9.1% e 2,6% nas duas últimas regiões.

Figura 3 – Nível de qualidade das rodovias estaduais



Fonte: CNT, 2018.

As figuras, acima representadas, são importantes para se verificar que as rodovias brasileiras necessitam de grandes empreendimentos no que se refere à conservação, manutenção e melhorias para se tornarem adequadas às necessidades de transporte rodoviário de cargas, de ônibus, carros, motos e outros meios de transportes terrestres (MAGALHÃES; SILVA, 2018).

2.2 Características da pavimentação rodoviária

A pavimentação rodoviária é definida como uma estrutura que possui várias camadas de espessuras finitas, construída a partir das atividades de terraplenagem de forma que possa resistir tanto ao tráfego quanto ao clima regional, oportunizando aos usuários condições ideais de rolamento, conforto, econômica e segurança (BERNUCCI et al., 2006).

Essa pavimentação é importante tendo em vista que possui da função de proporcionar estabilidade à superfície, permitindo que o tráfego aconteça continuamente em qualquer época do ano, além de fornecer os benefícios necessários para os usuários conforme determinações descritas no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

Assim, os pavimentos rodoviários podem ser classificados em: rígido, semirrígido e flexível que podem ser definidos da seguinte forma:

- a) Pavimentos rígidos: são os que possuem revestimento com elevada rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo todas as tensões provenientes do carregamento aplicado;
- b) Pavimentos semirrígidos: definidos como os que possuem estrutura executada com adição de cimento o que proporciona maior rigidez e módulo de elasticidade, de forma a absorver parte dos esforços;
- c) Pavimentos flexíveis: em todas as suas camadas há deformação elástica sob o carregamento aplicado e a carga se distribui de forma parcelada, mas equivalentes entre as camadas (DNIT, 2006; COSTA, 2013).

Entretanto, para se colocar em prática um projeto de pavimentação é preciso que o engenheiro rodoviário tenha conhecimento das diretrizes legais existentes que fixam parâmetros para que o projeto seja colocado em prática. Nesse sentido, deve-se considerar as determinantes que limitam o projeto como é o caso dos recursos financeiros e materiais o que leva, geralmente, à escolha de uma solução menos onerosa como critério principal (COSTA, 2013).

Por outro lado, ao se comparar dois tipos de pavimentos como, por exemplo, rígidos e flexíveis, “e considerando sua aplicação em um mesmo trecho, uma camada mais espessa não resultará obrigatoriamente em um pavimento mais adequada técnica e financeiramente” (COSTA, 2013, p. 15).

Há de se considerar, também, no momento da escolha do tipo de pavimento, outros fatores como conforto, segurança e economia que são características essenciais de uma boa pavimentação e, ainda se deve de forma obrigatória, “constar no projeto

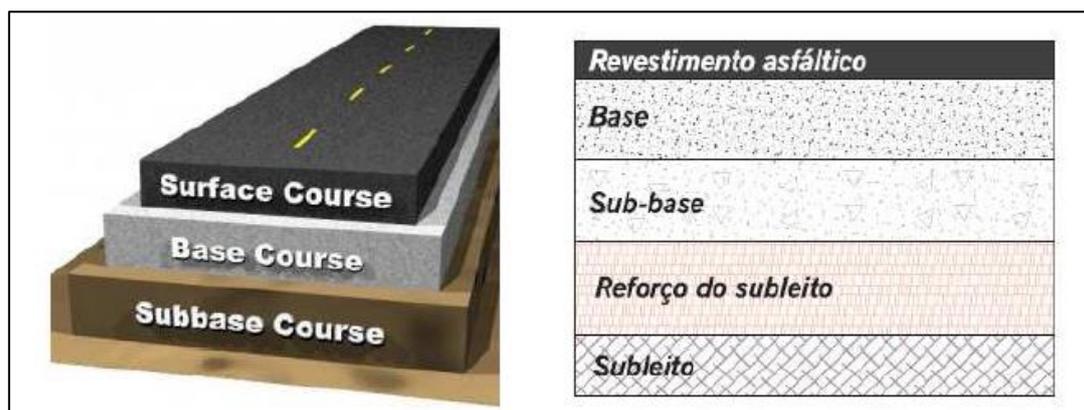
parâmetros de avaliação a partir de uma análise adequada do custo-benefício voltada à escolha de tipo de pavimento a ser executado” (BENEVIDES, 2000; COSTA, 2013, p. 16).

O pavimento flexível possui uma estrutura composta por uma camada de rolamento feita de material betuminoso e base formada por uma ou mais camadas que se apoiam sobre o leito da via e, dessa forma, a camada de rolamento tende a adaptar-se às deformações ocorridas na camada de base (BERNUCCI et al., 2006).

A pavimentação flexível pode ainda ser conceituada como uma estrutura de camadas em que todas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribuiu em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DNIT, 2006; COSTA, 2013, p. 17).

A figura 4, abaixo, mostra a composição estratificada de um pavimento flexível.

Figura 4 – Estrutura do pavimento flexível



Fonte: Costa, 2013.

Quanto à pavimentação rígida, esta é realizada utilizando o concreto e esse tipo de pavimento apresenta pouca deformação e é feito com placas de concreto simples, protendido, com adição de fibras ou com concreto rolado e alta resistência conforme determinações descritas no Manual de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2005).

Considerando que o pavimento rodoviário tem como função proporcionar estabilidade à superfície de rolamento da via, o mesmo deve ser condizente com os esforços que incidem ou incidirão sobre a sua estrutura, tendo a capacidade de suportar o tráfego estabelecido na via a ser pavimentada (GREGO, 2013).

Assim, ao se fazer a ação de solicitação do pavimento rodoviário deve-se ter em mente que esse:

Origina-se das forças exercidas pelas rodas dos veículos comerciais, podendo-se desprezar as ações ocasionadas por veículos leves, ou de passeio. Através das rodas pneumáticas as cargas dos veículos são transmitidas ao pavimento. Desta forma, para efetuar o dimensionamento do pavimento, é de fundamental importância o tráfego de veículos comerciais, tais como caminhões e ônibus. Entretanto, ao elaborar o projeto geométrico da via, leva-se em consideração tanto o tráfego de veículos comerciais quanto o tráfego de carros de passeio (MARQUES, 2013; COSTA, 2013, p. 17).

Dessa forma, em um projeto de pavimentação deve-se levar em conta o tráfego rodoviário, pois, através dele, pode-se conhecer dados estatísticos relacionados ao número de veículos que circula em um determinado local a ser pavimentado, permitindo que se conheça a capacidade da via e, com isso, estabelecer uma alternativa de solução construtiva essencial para a sua execução ou realizar melhorias no projeto de pavimentação (GREGO, 2012).

A composição do tráfego para dimensionamento de um pavimento é baseada no volume diário médio de veículos do período de projeto, acrescentando uma taxa de crescimento de tráfego. O volume diário médio (VDM) é definido como o número de veículos que circulam em uma estrada durante um ano dividido pelos dias do ano. A referida taxa de crescimento, a qual é acrescentada ao VDM, é baseada no crescimento histórico do fluxo de veículos no trecho ou região em estudo, sendo aconselhável, quando faltam dados, utilizar taxa de 5% ao ano (GRECO, 2012; COSTA, 2013, p. 24).

Além disso, um projeto de pavimento rodoviário deve ser feito considerando um determinado período de tempo que é denominado de período P que é expresso em anos e outros fatores conforme descrito abaixo:

No início deste período P, admite-se que na via ocorra um volume de veículos inicial denominado "V1". Com o decorrer do tempo, no período de utilização da rodovia, o volume de veículos tenderá a aumentar. No final do período considerado, o volume de veículos final é chamado de tráfego final, ou tráfego total, designado por "Vt". Fica evidente que há uma diferença, do tráfego inicial para o tráfego final, uma parcela de aumento do tráfego que deverá ser considerada no projeto. Para tal, estima-se este crescimento do tráfego através de uma taxa de aumento, que pode ser tomado, frente às circunstâncias apresentadas, como crescimento linear ou aritmético, geométrico ou crescimento exponencial (GRECO, 2012; SANTOS, 2021, p. 17).

Além disso, deve-se considerar a taxa de crescimento em progressão aritmética ou linear com a qual é possível determinar o volume médio do tráfego diário a partir da seguinte equação:

$$V_m = \frac{V_1 \left[2 + (P - 1) * \frac{t}{100} \right]}{2}$$

Onde:

V_m = volume final médio diário de tráfego em apenas um sentido;

V_1 = volume inicial médio diário de tráfego em apenas um sentido;

P = quantidade de anos do período;

t = taxa de crescimento

Já o volume total do tráfego ou volume de tráfego final em um determinado, para uma taxa de crescimento em progressão exponencial, pode ser determinado através das equações abaixo descritas.

$$V_t = 365 * P * V_m$$

Ou

$$V_t = \frac{365 * V_1 * \left[\left(1 + \frac{t}{100} \right)^P - 1 \right]}{\frac{t}{100}}$$

Onde:

V_t = volume total de tráfego no período em apenas um sentido;

V_1 = volume inicial médio diário de tráfego em apenas um sentido;

t = taxa de crescimento;

P = quantidade de anos que compõe o período.

Além disso, de acordo com o Manual do DNIT, os materiais empregados em pavimentos precisam obedecer a algumas classificações específicas quanto aos materiais granulares, a saber:

- Materiais para reforço do subleito: $CBR > CBR_{\text{Subleito}}$; Exp. $\leq 2\%$
- Materiais para sub-base: $CBR \geq 20$; Exp. $\leq 1\%$
- Materiais para base: $CBR \geq 80$; Exp. $0,5\%$; $LL \leq 25\%$; $IP \leq 6\%$

Entretanto é preciso lembrar que, para $N \leq 106$, podem ser empregados materiais com $CBR \geq 60$ e as faixas granulométricas E e F da AASHTO, segundo o manual de pavimentação 2006 DNIT (COSTA, 2013).

No que diz respeito ao dimensionamento de um pavimento flexível observa-se a associação de alguns parâmetros específicos tais como:

- O fator de eixo - FE;
- O fator de carga - FC;
- O fator climático regional - FR;
- O fator de veículo - FV;
- E o número N+.

Esses parâmetros serão descritos a seguir.

Primeiramente, afirma-se que, em relação ao pavimento flexível é realizado em função de outros parâmetros, ou seja:

O dimensionamento do pavimento flexível é realizado, dentre outros parâmetros, em função de um número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, durante um período de tempo determinado. Este eixo é aquele eixo de 8,2 tf, anteriormente conceituado na seção 3.4.2, o qual é denominado eixo padrão rodoviário. Ao número equivalente de operações desse eixo, dá-se o nome de número N. Para o cálculo do número N,

considera-se o número de eixos dos veículos, assim como também fatores de carga e fatores regionais climáticos (MARQUES, 2013, p. 16).

Em relação ao número N pode-se definir que:

$$N = Vt * FV$$

ou

$$N = Vt * FE * FC * FR$$

Onde:

Vt = volume total final;

FV = fator de veículo;

FE = fator de eixo;

FC = fator de carga;

FR = fator regional.

O fator de veículo (FV) é definido como:

Um número que transforma o volume de tráfego real que solicita o pavimento durante o período de projeto, em um tráfego equivalente do eixo padrão no mesmo período de tempo. Ou seja, é um número que, ao ser multiplicado pelo número total de veículos (Vt), resulta diretamente, no número de operações do eixo padrão rodoviário (número N) equivalente ao número de operações dos eixos reais dos veículos que solicitam a via, já considerando fatores de carga e eixo (MARQUES, 2013, p. 17).

O fator de veículo é numericamente dado por:

$$FV = FE * FC$$

Onde:

FV = fator de veículo;

FE = fator de eixo;

FC = fator de carga

Já em relação ao fator de eixo (FE) este é definido da seguinte forma:

É um número que representa a quantidade total de eixos dos veículos previstos que solicitarão a via. É um coeficiente que, multiplicado pelo volume total de tráfego comercial que solicita o pavimento durante o período de projeto determinado, fornece uma estimativa para o número total de eixos que solicitarão o pavimento neste mesmo período. Este fator é determinado através da contagem e do somatório de todos os eixos dos veículos estimados, sendo assim, necessário conhecer a composição do tráfego. Apesar de estar relacionado aos eixos, este fator apenas os quantifica. A análise quanto à proporção entre a carga do eixo real e a carga do eixo padrão é feita pelo fator de equivalência de operações, que auxilia na determinação do fator de carga e será abordado na próxima seção (MARQUES, 2013, p. 18).

Quanto ao fator de carga (FC) Segundo Marques (2013), o fator de carga pode ser definido como um coeficiente que, multiplicado pelo número de eixos que solicitam o pavimento durante o período de 18 projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão. E determinado do seguinte modo:

$$FC = \sum FEO * PCiAm$$

Onde:

FC = fator de carga

FEO = fator de equivalência da operação

PCAM = porcentagem de carga i (tf) na amostra

É preciso calcular, também, o fator climático regional (FR) que é definido da seguinte forma:

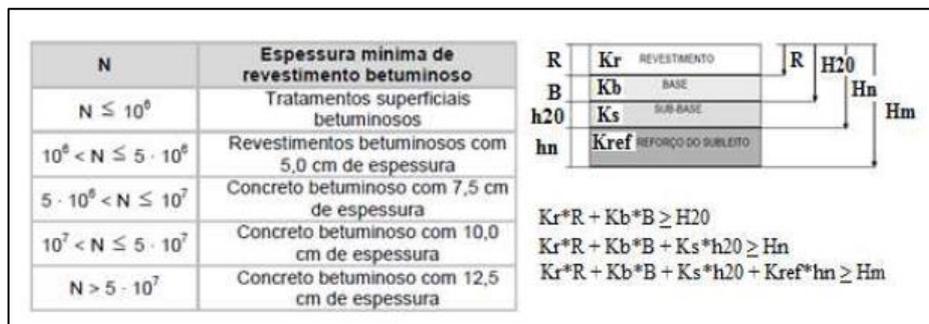
O fator climático regional é um coeficiente que possibilita considerar as variações de umidade dos materiais do pavimento ocorridas em função de alterações climáticas incidentes durante as diversas estações do ano. Estas variações de umidade ocasionam variações de capacidade de suporte dos materiais, interferindo na estabilidade e resistência do pavimento (MARQUES, 2013, p. 19).

O coeficiente regional climático final que deverá ser adotado é uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais, “levando-se em conta o espaço de tempo em que ocorrem. É boa prática, e também indicado no manual do DNIT, que se adote um FR = 1,0” (COSTA, 2013, p. 20).

Quanto à determinação da espessura das camadas do pavimento flexível, essa deve ser realizada a partir do momento em que conhece o número N e somente a partir daí pode-se fazer a estimativa das camadas de revestimento asfáltico, de base, de sub-base e de esforço do subleito e somente depois pode-se realizar a seguinte etapa:

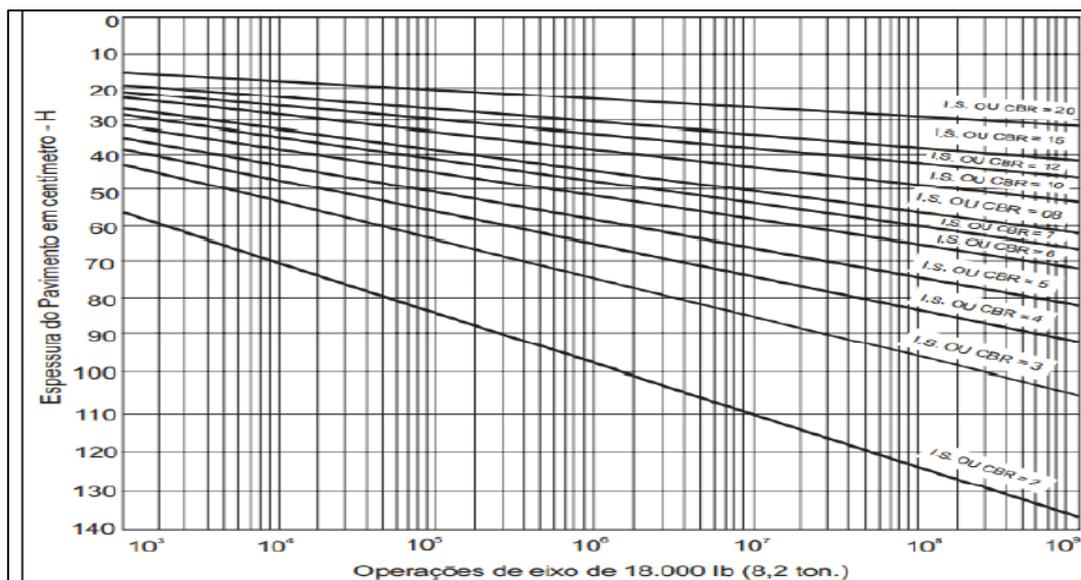
Com o número N, e com o CBR ou IG do subleito e dos materiais disponíveis para as camadas, faz-se a determinação das espessuras Hm, Hn, h20 (figura 9) pelo ábaco e R pela Tabela de espessura mínima de revestimento betuminoso. As espessuras da base (B), sub-base (h20) e reforço (Hn) são obtidas pela resolução das inequações. Com o número N, e com o CBR ou IG do subleito e dos materiais disponíveis para as camadas, faz-se a determinação das espessuras Hm, Hn, h20 pelo ábaco e R pela Tabela de espessura mínima de revestimento betuminoso. As espessuras da base (B), sub-base (h20) e reforço (Hn) são obtidas pela resolução das inequações (COSTA, 2013, p. 22).

Figura 5 – Espessura mínima de revestimento betuminoso/Inequações



Fonte: COSTA, 2013.

Figura 6 – Ábaco de espessura em função de N e CBR



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT, 2006.

Para o coeficiente K, constante nas inequações, adotam-se os valores indicados na figura 7, logo a seguir. Deste modo, depois de resolvidas as inequações, verifica-se a adequabilidade das espessuras determinadas, arredondando, caso necessário, o resultado de forma a satisfazer as condições exigidas para um bom desempenho do pavimento. Depois de resolvidas as inequações, “verifica-se a adequabilidade das espessuras determinadas, arredondando, o resultado de forma a satisfazer as condições para um bom desempenho do pavimento” (COSTA, 2013, p. 25).

Figura 7 – Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes dos pavimentos	Coeficiente de equivalência estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77(1,00)
Reforço do subleito	0,71 (1,00)
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm ²	1,70
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,40
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,20
Bases de Solo-Cal	1,20

Fonte: DNIT, 2006.

Considerando que o pavimento flexível é o mais utilizado no Brasil na pavimentação de estradas e rodovias, foram apresentadas equações relacionadas à sua confecção e que no momento de se fazer o projeto de pavimentação deverão ser observadas atentamente.

Conforme já fora dito, anteriormente, a palavra pavimento refere-se a uma estrutura existente em ruas onde há movimentação de pessoas, carros, bicicletas e outros meios de transporte, podendo ser considerada como “estrutura com várias camadas de espessuras limitadas, construída em cima de uma superfície final do terraplenagem, destinada a suportar o peso dos veículos que trafegam por ela” (SALOMÃO; FRÓES, 2020, p. 5).

Ou seja:

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem, destina técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI et al., 2006; CNT, 2007; SALOMÃO; FRÓES, 2020, p. 6).

Observa-se, também, que o pavimento rodoviário é formado por uma estrutura com uma ou mais camadas com características específicas para receber as diferentes cargas aplicadas na superfície e que são distribuídas de modo que as tensões resultantes permaneçam abaixo das tensões admissíveis dos materiais utilizados na confecção da estrutura (PINTO et al., 2002).

Quanto aos materiais a serem utilizados na pavimentação, esses podem ser classificados da seguinte forma:

- Brita graduada simples: mistura de produtos de britagem de rocha sã que é feita em usinas, que resulta em um enquadramento em forma de faixa granulométrica contínua, que se transforma em um produto durável e estável quando compactado de forma correta;
- Macadame seco: usa de agregados graúdos e miúdos, sem usar água para preencher os vazios;
- Solo agregado: é um composto formado por solo, água e agregados que são aplicados diretamente ao solo e compactado por um rolo;
- Rachão: é um material bruto, usado para reforçar o subleito ou a sub-base de forma a aumentar a resistência da camada e é formado por pedregulhos de grandes dimensões. “Como última camada da estrutura existe o revestimento, é ele que recebe o impacto direto advindo do tráfego, e ela é ligada diretamente a qualidade do subleito” (SALOMÃO; FRÓES, 2020, p. 7).

Quanto ao asfalto, os materiais a serem utilizados podem ser: cimentos asfálticos, asfaltos diluídos, emulsões asfálticas. Os cimentos asfálticos são provenientes de matérias diversas como asfalto natural, comum em jazidas ou da exsudação do petróleo em refinarias e “sua obtenção é direcionada especificamente para a apresentação de

novos aspectos favoráveis para sua utilidade na estrutura de construções pavimentares” (PINTO; PINTO, 2015, p. 35).

Com relação aos asfaltos diluídos, esses são conhecidos, também, por cut-backs e resultam da diluição de cimentos asfálticos a partir do uso de solventes derivados do petróleo de volatilidade adequada (PINTO; PINTO, 2015).

As emulsões asfálticas são definidas da seguinte forma:

É uma separação coloidal de uma fase asfáltica em uma fase líquida (direta) ou, então, de uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica (inversa), sobre a influência de um determinado agente emulsificante, obtido através da combinação do asfalto aquecido com a água, juntamente a uma intensa agitação e na presença dos emulsificantes, cujos principais objetivos são gerar estabilidade ao conjunto, envolver os glóbulos de betume por uma película, os mantendo em suspensão e proporcionar a dispersão (PINTO; PINTO, 2015, p. 37).

Com relação ao cimento, deve-se utilizar o cimento Portland na pavimentação rígida como base para o desenvolvimento das camadas de revestimento conforme a Norma do DNIT 059/2004, o cimento Portland pode ser de qualquer tipo, porém, ele deve cumprir as normas descritas no DNER-EM036.

Quanto às camadas do pavimento, essas devem ser realizadas após a terraplenagem da área, acima do subleito que fica abaixo da estrutura do pavimento e sendo considerado a fundação do sistema que receberá todo o esforço absorvido pelo pavimento. “A estrutura do pavimento acima do subleito é formada por uma regularização do subleito, um reforço de subleito, caso seja necessário, uma Sub-base sobre esse reforço, revestida por uma base e finalizada por um revestimento” (SALOMÃO; FRÓES, 2020, p. 8).

Outro ponto importante da pavimentação são os serviços tais como:

- a) A pintura de ligação “aplicação de uma substância conhecida como ligante asfáltica do tipo RR-1C sobre o revestimento ou base, antecedendo à execução de uma camada asfáltica, gerando uma condição de aderência, entre esta e o revestimento a ser feito”;
- b) A imprimação que é o uso da emulsão asfáltica do tipo, ou o asfalto diluído, tipo CM-30, sobre a base concluída, antecedente ao revestimento asfáltico,

impermeabilizando, possibilitando condições de aderência entre esta e o revestimento a ser feito, e também conferir qualquer coesão superficial que possa existir;

- c) Frenagem: é utilizada em casos em que há um pavimento pré-existente, também é necessário fresar a pista para a constituição de um novo pavimento, ou de nova camada. É realizado o desbaste, ou corte de camadas do pavimento asfáltico por meio do processo mecânico a frio (DNIT, 2006; SALOMÃO e FRÓES, 2020, p. 10).

Conhecer os elementos, acima descritos, são importantes tendo em vista que:

A partir de sua avaliação e também caracterização é de extrema importância na dosagem de uma mistura asfáltica, para que se seja possível distinguir a combinação de materiais (agregado e Material Asfáltico) e então obter um resultado que garanta que o pavimento tenha um bom desempenho. Uma função de dosagem feita de maneira inadequada gera uma série de insucessos, por isso a importância de compreender as características e propriedades das misturas (SALOMÃO; FRÓES, 2020, p. 11).

Vale ressaltar que um projeto de pavimentação deve levar em consideração que o mesmo possui as seguintes funções: resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los para camadas subjacentes; resistir aos esforços horizontais (desgaste) tornando mais durável a superfície de rolamento; melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança; resistir às ações do intemperismo (MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018).

Entretanto, para cada etapa de um projeto de pavimentação é preciso que o profissional engenheiro tenha conhecimento de todos os passos essenciais para a correta execução da obra como, por exemplo, os tipos de asfalto, a análise do terreno, as normas existentes, os tipos de asfalto e as etapas a serem desenvolvidas (MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018).

2.3 Etapas de um projeto de execução de uma obra de pavimentação

A seguir, serão demonstradas através de figuras algumas das especificações das quais o engenheiro e os demais profissionais encarregados de desenvolver um projeto de pavimentação devem ter conhecimento.

- 1) Etapas de execução das camadas de pavimento

Figura 8 – Regularização e reforço do subleito



Fonte: TORC, 2016.

Figura 9 – Camadas de sub-base de BGS e base BGTC



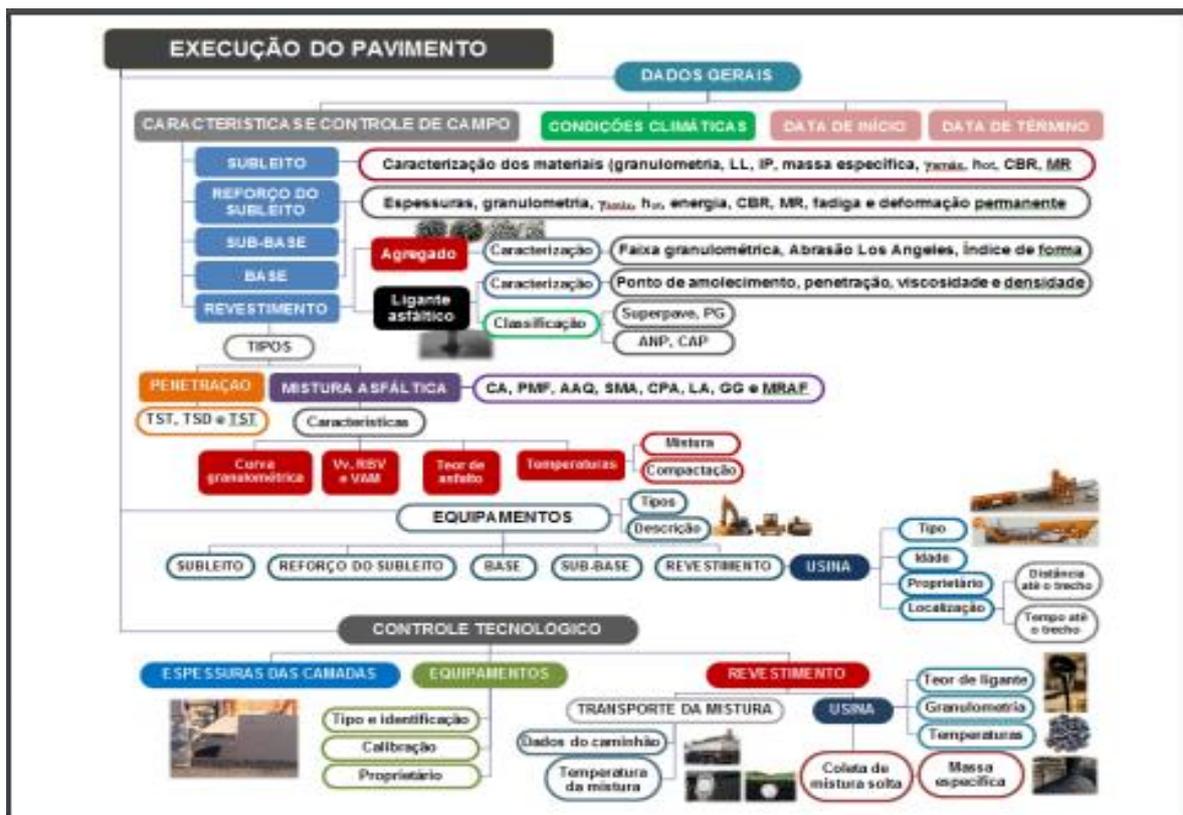
Fonte: TECHINE, 2016.

Figura 10 – Revestimento de concreto asfáltico



Fonte: PINI, 2015.

Figura 11 – Execução do pavimento



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

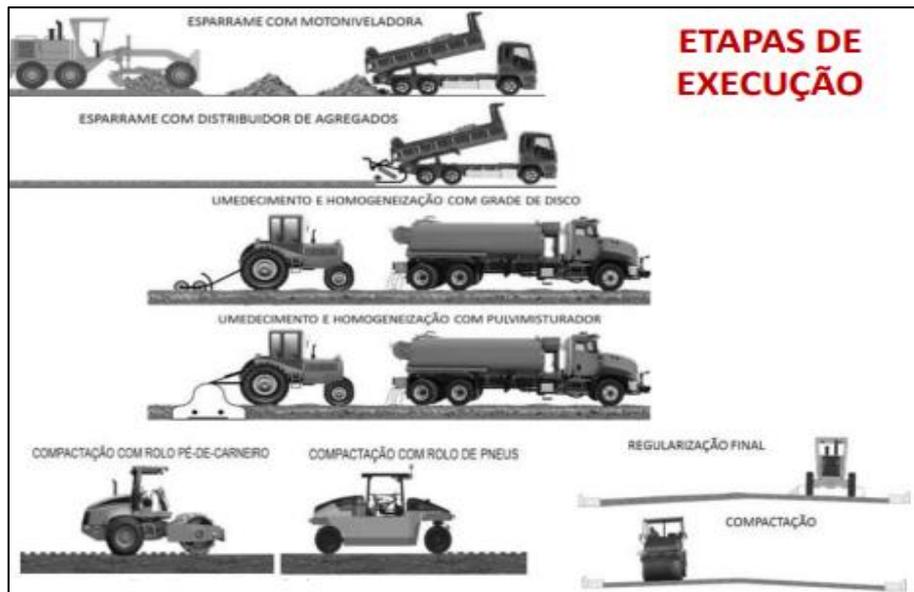
A execução do reforço do subleito compreende as operações de mistura, pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais na pista, seguidas de espalhamento, compactação e acabamento (SOUSA, 2015), conforme demonstrado nas figuras 11 e 12.

Figura 9 – Execução do reforço do subleito



Fonte: MARQUES, 2015.

Figura 11 – Etapas da execução



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Já o controle de compactação durante a execução do reforço do subleito deve ser feito seguindo os seguintes passos: ensaio de laboratório como referência comparando os resultados de campo com os resultados de laboratório; controle de execução do serviço ou controle com equipamento, número de passadas, espessura da camada, teor de umidade, dentre outros; controle do produto terminado observando os parâmetros do solo após a compactação tais como grau de compactação, índice de compacidade, porcentagem de vazios de ar, etc. (SOUZA, 2015) como mostra a figura 12.

Figura 12 – Cálculo do grau de compactação

GRAU DE COMPACTAÇÃO (GC):

$$GC = \frac{\gamma_{s_{\text{campo}}}}{\gamma_{s_{\text{máx}}}} \times 100$$

onde:

$\gamma_{s_{\text{campo}}}$ = massa específica aparente seca obtida no campo após compactação

$\gamma_{s_{\text{máx}}}$ = massa específica aparente seca obtida em laboratório, com o ensaio tomado como referência

Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Figura 13 – Determinação da massa específica aparente seca através do método frasco de areia



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Durante a execução do reforço do subleito é necessário determinar o teor de umidade utilizando o método SPEEDY que consiste na mistura de carbureto de cálcio pulverizado com um peso determinado de solo úmido, em recipiente fechado, de onde é medida a pressão desenvolvida na formação do gás acetileno. Essa pressão, por sua vez, está diretamente relacionada com a quantidade de água existente no solo (SOUZA, 2015) como demonstrado na figura 14.

Figura 14 – Especificações do controle de compactação



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Na determinação do teor de umidade pode-se utilizar o método da frigideira que consiste em fritar o solo, ou seja, uma pequena porção do solo úmido é colocada em uma frigideira que, por sua vez, é colocada sobre uma fonte de calor. Com o auxílio de uma espátula mistura-se a amostra suavemente até que a água evapore e, ao colocar uma placa de vidro sobre a frigideira e observar se há vapor se formando na placa, caso não esteja formando vapor, a amostra está seca (SOUZA, 2015).

Quanto às especificações dos ensaios do controle tecnológico de materiais de execução do reforço do subleito, a figura 15 demonstra quais são essas especificações.

Figura 15 – Especificações do controle de compactação

Ensaio	Normas	Quantidade	Descrição
M - Compactação	DNIT 164/2013-ES	5 ensaios	1 ensaio a cada 200 m
M - Índice de suporte Califórnia, ISC, e expansão	DNIT 172/2016-ES	3 ensaios	1 ensaio a cada 400 m
M - Análise granulométrica	DNER-ME 080/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200 m
M - Limite de plasticidade, LP	DNER-ME 082/94	5 ensaios	
M - Limite de liquidez, LL	DNER-ME 122/94	5 ensaios	
E - Umidade higroscópica	DNER-ME 052/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100 m
E - Massa específica aparente seca "in situ"	DNER-ME 092/94	10 ensaios	
E - Grau de compactação, GC	DNER-ME 092/94	10 ensaios	

Nota: M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.
 A tolerância admitida para a umidade higroscópica deve ser de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima.
 A frequência indicada para a execução de ensaios é a mínima aceitável. Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000 m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.

Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Quanto à execução do concreto asfáltico (CA), deve-se realizar a pintura de ligação sobre a superfície imprimada; aquecer o ligante asfáltico de acordo com a relação viscosidade e temperatura; aquecer o agregado a uma temperatura de 10 a 25 graus acima da temperatura do CAP cuja temperatura de mistura deve estar entre 107 e 177 graus; transportar a mistura com a carga coberta com lona; distribuir a mistura e iniciar o processo de compactação do material na maior temperatura que a massa possa suportar e fazer a abertura do tráfego somente após o resfriamento do revestimento (SOUZA, 2015; MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018).

Para melhor observar o que fora dito, anteriormente, as figuras 16 e 17 apresentam as etapas de execução do CA.

Figura 16 – Execução do CA



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Figura 17 – Execução do CA



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Para o controle de execução do Ca é necessário observar que esse deve ser feito em todos os momentos de realização da pavimentação incluindo: controle da qualidade do ligante na mistura com variação máxima de mais ou menos 0,3% do teor de projeto; controle de temperatura do agregado no silo quente, do ligante no tanque de estocagem e da mistura na saída do misturador; realizar o ensaio de Marshall observando os valores da estabilidade, RBV vazios e fluência devem satisfazer às especificações; controle da temperatura da massa asfáltica durante o espalhamento, imediatamente antes de iniciar a compactação com uma tolerância de mais ou menos

5°C; controle do grau de compactação (GC) que deverá ser feito medindo a densidade aparente dos corpos de prova extraídos da pista em que o GC deve ser maior ou igual a 97% em relação à massa específica aparente máxima do projeto ou outra, desde que especificada em projeto (MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018).

Esses controles estão demonstrados nas figuras 18, 19, 20 e 2 a seguir.

Figura 18 – Controle de execução (CA)



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Figura 98 – Controle de temperatura



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Figura 20 – Controle de espessura



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Figura 21 – Controle de espessura



Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2018.

Apesar de ser mais barato, o pavimento flexível apresenta problemas que podem impedir a conservação das rodovias e esses problemas podem ser agrupados em dois tipos de defeitos, superficiais e deformação em perfil.

Defeitos superficiais:

- Fissuração/fendilhamento: fissura insipiente, trincas interligadas, trinca nas trilhas das rodas, trinca longitudinal na borda do pavimento; trinca longitudinal no eixo do pavimento; trinca isolada transversal de retração térmica; trinca em bloco (de retração térmica); trinca parabólica de escorregamento; trinca de reflexão;
- Desagregação (panelas);
- Mancha de água (umidade excessiva);
- Bombeamento de água;
- Bombeamento de água com finos (lama branca);
- Espelhamento;
- Desgaste;
- Polimento dos agregados (aspereza);
- Desintegração;
- Descolamento do ligante;
- Falta de aderência pneu-pavimento;
- Estriamento (em tratamentos superficiais).

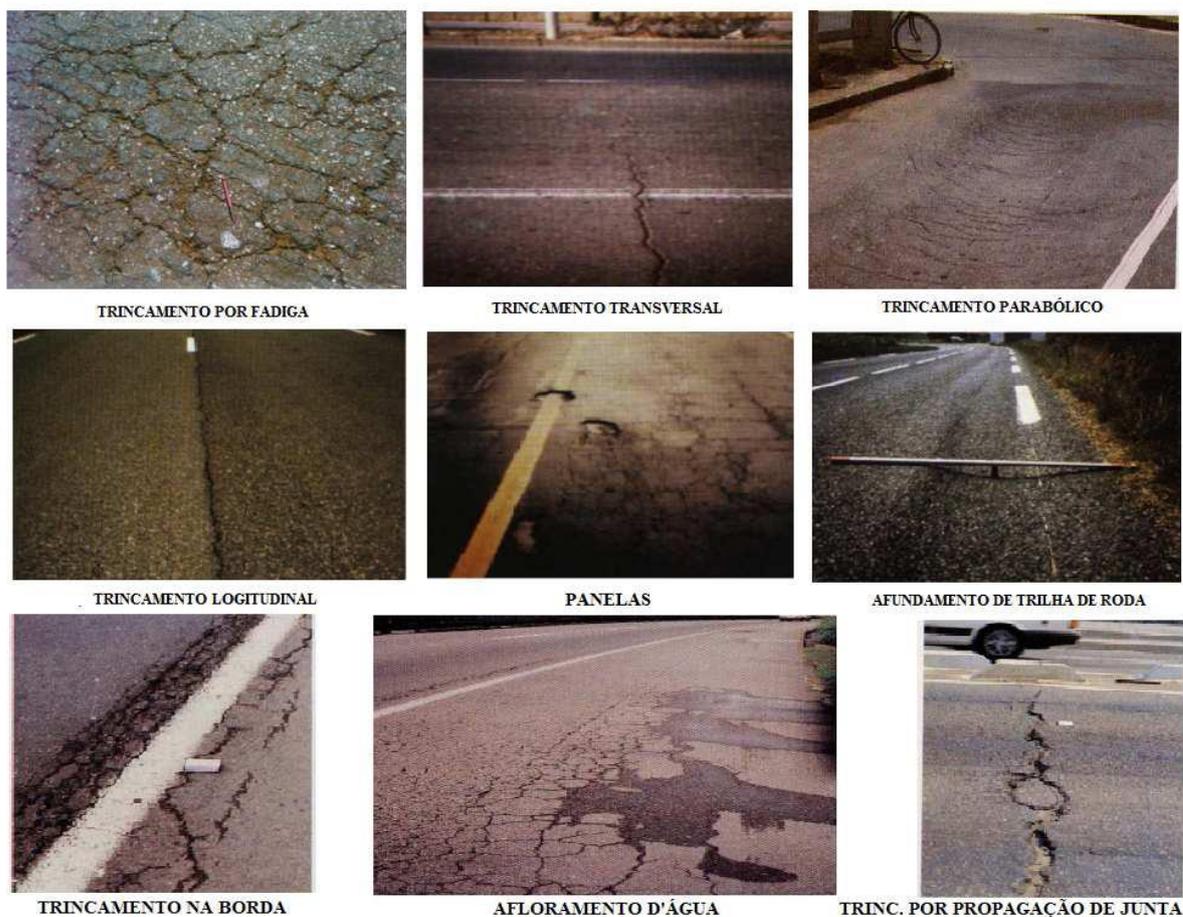
Deformações em Perfil:

- Fissura incipiente;
- Trincas interligadas (tipo couro de jacaré);

- Trinca nas trilhas de rodas;
- Trinca longitudinal na borda do pavimento;
- Trinca longitudinal no eixo do pavimento;
- Trinca isolada transversal de retração térmica;
- Trinca em bloco (de retração térmica);
- Trinca parabólica de escorregamento;
- Trinca de reflexão;
- Trilha de roda (cavado das rodeiras);
- Afundamento;
- Afundamento localizado;
- Refluimento lateral;
- Escorregamento do revestimento;
- Ondulação;
- Corrugação;
- Depressão;
- Estufamento (DNIT, 2006; COSTA, 2013).

A figura 22 demonstra com clareza esses defeitos.

Figura 22 – Principais defeitos em pavimentos flexíveis



Fonte: Adaptado por COSTA, 2013.

Para ter um bom desempenho, os pavimentos flexíveis precisam de manutenção que, segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) podem ser da seguinte forma:

- **A Conservação Preventiva Periódica:** que consiste na limpeza de sarjetas, bueiros e meios-fios como a finalidade de desobstruir o caminho a ser percorrido pela água que incide sobre a sarjeta;
- **A Conservação Corretiva Rotineira:** consiste na selagem de trincas para impedir a penetração de água nas camadas inferiores do pavimento; recomposição de obras de drenagem e sinalizações horizontal e vertical: recomposição de guarda-corpos, cercas, e defesa metálica; e reconformação da plataforma, mantendo-a em boas condições de tráfego e drenagem;

- **Remendos ou Reparações Localizadas:** operações corretivas processadas normalmente em nível de revestimento com o objetivo de corrigir manifestações de ruína específicas, bem definidas e de pequenas dimensões; podem ser: remendo superficial, tapa-buraco, ou remendo profundo;
- **Recuperações Superficiais:** operações com a finalidade de corrigir falhas superficiais: fissuração, desagregação, perda de agregados, polimento das asperezas, exsudação, trilhas de roda;
- **Reforço Estrutural:** ser concebido quando as operações corretivas de menor vulto já não se fizerem suficientes para conter o processo evolutivo e inexorável de degradação do pavimento. Com efeito, ao final da vida útil, o pavimento é atacado por um processo extremamente acelerado de degradação o qual realça as características antieconômicas de se promover ações corretivas de pequeno porte;
- **Reconstrução:** processo, parcial ou total, empregado no caso de o pavimento já estar em estado muito avançado de degradação, sem a possibilidade de eficácia dos métodos de recuperação convencionais;
- **Melhoramentos:** operações que acrescentam à rodovia características novas, ou modificam as características existentes, que acrescentam condições técnicas não existentes após a construção da rodovia, ou que alteram as características existentes na rodovia, levando-a a um nível superior de utilização (COSTA, 2013).

2.4 Sinalização de uma rodovia em obras de pavimentação ou manutenção

Outro dado importante diz respeito à sinalização que, mesmo sendo imprescindível para a segurança dos usuários das rodovias, também apresenta problemas e essa é uma afirmativa que pode ser vista na análise do índice de acidentes e os prejuízos advindos de tal problema (SÁ FREIRE, 2011).

Em consequência dos acidentes, o país tem um prejuízo anual de R\$105 milhões com acidentes de trânsito diante do fato de que há custos com perda de produção, custos

médicos, previdência social, custos legais, perdas materiais, despesas com seguro e custos com emergências dentre outros (MURAKAMI, 2017).

Esses acidentes, por sua vez, poderiam ser menores caso houvesse preocupação sistemática com a sinalização que tem papel fundamental em informar e orientar os usuários das vias, pois, o respeito à sinalização garante organização do tráfego e segurança para os condutores e pedestres (FONTANA, 2015).

A sinalização com placas, inscrições nas vias, sinais luminosos, gestos e sons compões o código de sinalização de trânsito e essa sinalização “deve obedecer a certos padrões universais e nacionais para que seja compreendida por pessoas de outros países, outros estados e/ou cidades (FONTANA, 2015, p. 17).

Além disso, a escolha dos locais apropriadas para se colocar a sinalização depende de pontos específicos tais como: características físicas da rodovia, velocidade operacional da rodovia, características da região atravessada pela rodovia, tipo e intensidade de ocupação lateral (BRASIL, 2010).

Ou seja:

A sinalização viária precisa, por meio de sinais, conforme a legislação vigente, orientar os usuários para que possam entender, obedecer e se manterem seguros, de forma compreensível, fácil, simples. Quanto a sinalização é correta, o usuário sente-se seguro e contribui para minimizar os erros em tomadas de decisão quando necessárias. Ela deve seguir normas de circulação e transmitir aos usuários essa regra, de forma que todos possam compreendê-la e obedecê-la (MURAKAMI, 2017, p. 22).

Ao mesmo tempo, a sinalização deve levar aos condutores informações necessárias dentro do seu campo de visão e da necessidade da informação em um determinado momento e de acordo com o fluxo da via (GUERREIRO, 2012).

Diante do fato de que a sinalização é imprescindível para se obter segurança no tráfego, essa tem por objetivo fazer com que os “usuários atinjam seus destinos com segurança e ordem, advertindo sobre condições de perigo, informando o posicionamento do veículo e as direções a serem tomadas (RENZ, 2015, p. 19).

Com base na Resolução do Contran 486/14, a sinalização deve seguir alguns princípios específicos que uma condição essencial para que o trânsito funcione como um transmissor de informação rápida e precisa, de forma que o usuário possa tomar uma decisão no menor tempo possível (RENZ, 2015).

A figura 22, abaixo, faz uma demonstração clara desses princípios de acordo com a Resolução do Contran 486/14.

Figura 22 – Princípios da sinalização

Legalidade	Obedecer ao Código de Trânsito Brasileiro – CTB e legislação complementar.
Padronização	Seguir um padrão legalmente estabelecido: situações iguais devem ser sinalizadas com o mesmo critério.
Suficiência	Permitir fácil percepção do que realmente é importante, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade.
Clareza	Transmitir mensagens de fácil compreensão.
Precisão e confiabilidade	Ser precisa e confiável, correspondendo à situação existente.
Visibilidade e legibilidade	Ser vista à distância necessária. Ser lida em tempo hábil para a tomada de decisão.
Manutenção e conservação	Estar permanentemente limpa, conservada, fixada e visível.

Fonte: Resolução Contran 486/14

Ao fazer a sinalização de uma via é preciso estar atento a esses princípios, pois, os mesmos tem como objetivo informar ao usuário de forma rápida e precisa e, também, essa informação precisa ser clara quanto ao que se deseja transmitir: proibição, obrigação, aviso, indicação, dentre outros de forma que o usuário possa compreender o significado de maneira rápida e eficaz (NETO, 2015).

Ao mesmo tempo, deve-se atentar para o fato de que o ponto de partida da sinalização está no fato de se conhecer as instituições que fazem a gestão do trânsito brasileiro cuja direção geral está a cargo do Ministério das Cidades e outras instâncias federal, estadual e municipal que compõe o Sistema Nacional de Trânsito com seus respectivos órgãos consultivos, executivos, de fiscalização e julgadores conforme demonstrado na figura 23.

Figura 23 – Componentes do Sistema Nacional de Trânsito

Instância	Órgãos Consultivos	Órgãos Executivos		Agentes de Fiscalização	Órgãos Julgadores
		Trânsito	Rodoviário		
Federal	CONTRAN	DENATRAN	DNIT	Polícia Rodoviária Federal e DNIT	JARI
Estadual	CETRA CONTRANDIFE	DETRAN	DER	Polícia Militar, agentes dos DETRANS e DER	JARI
Municipal		Órgão Municipal de trânsito e rodoviário	Órgão Municipal de trânsito e rodoviário	Polícia Militar e agentes dos órgãos municipais	JARI
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito CETRA – Conselho Estadual de Trânsito CONTRANDIFE – Conselho de Trânsito do Distrito Federal DETRA – Departamento Estadual de Trânsito DER – Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes JARI – Junta Administrativa de Recursos de Infração					

Fonte: NETO, 2015.

Ressalta-se, porém, que o órgão de maior importância é o Contran que é composto por representantes dos Ministérios da Ciência e Tecnologia, Educação, Defesa, Meio Ambiente, Transportes, das Cidades e da Saúde e cabe a esse órgão ampliar, alterar ou complementar o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) através da publicação de Resoluções que, até julho de 2015, contavam com um total de 539 Resoluções (NETO, 2015).

No caso de uma rodovia, é preciso que o profissional responsável pela execução da sinalização tenha conhecimento dos tipos de sinalização específicas sejam elas verticais, horizontais, dispositivos de sinalização auxiliar, luminosos, sonoros, gestos do agente de trânsito e do condutor.

A sinalização vertical tem como objetivo, por meio de placas, painéis ou dispositivos auxiliares transmitir ao usuário a regulamentação da rodovia, advertência quanto a situações que possam comprometer a segurança do usuário, indicações, orientações e informações sobre o destino final, além de mensagens educativas (MURAKAMI, 2017).

Para isso, esse tipo de sinalização utiliza de sinais apostos sobre placas fixadas na posição vertical, ao lado ou suspensas sobre a pista transmitindo mensagens de caráter permanente ou não utilizando símbolos ou legendas preestabelecidas ou legalmente instituídas (CONTRAN, 2014; MURAKAMI, 2017, p. 24).

No caso da Sinalização Vertical de Regulamentação, essa tem a finalidade de transmitir aos usuários as condições, proibições, obrigações ou restrições no uso das vias urbanas ou rurais, que são estabelecidas para dias, períodos, horários e locais, tipos de veículos ou trechos, de forma coerente com a legislação vigente e esses sinais de regulamentação estão distribuídos em oito grupos específicos de acordo com a função, natureza, característica e aspecto do trânsito e esses grupos são agregados da seguinte forma: preferência de passagem, velocidade, sistema de circulação (proibidos, obrigatórios), normas especiais de circulação (controle de faixas de tráfego, restrições de trânsito por espécie e categoria de veículo, modos de operação), controle das características dos veículos que transitam na via, estacionamento e trânsito de pedestres e ciclistas (CONTRAN, 2014; MURAKAMI, 2017).

Já a sinalização vertical de advertência tem a função de alertar os usuários as “condições perigosas, obstáculos ou restrições existentes na via ou adjacentes a ela, indicando a natureza dessas situações à frente quer sejam permanentes ou eventuais” e estão divididas em grupos e subgrupos a saber: curvas horizontais (curvas isoladas ou sequências de curvas), interseções, controle de tráfego, interferência de transporte, condições da superfície da pista, perfil longitudinal, traçado da pista, obras, sentido de circulação, situações de risco eventual, pedestres e ciclistas, restrições de dimensões e peso de veículos (CONTRAN, 2014; MURAKAMI, 2017).

Outro tipo de sinalização vertical é de indicação cujo objetivo é:

Promover a comunicação por meio de um conjunto de placas, com a finalidade de identificar as vias e os locais de interesse, bem como orientar condutores de veículos e pedestres quanto aos percursos, destinos, acessos,

distâncias, serviços auxiliares e atrativos turísticos, podendo também ter como função a educação do usuário (CONTRAN, 2014, p. 23).

A sinalização vertical de indicação está dividida em grupos tais como: placas de identificação, placas de orientação, placas educativas, placas de serviços auxiliares, placas de atrativos turísticos e placas de postos de fiscalização.

Com relação à sinalização horizontal, a Resolução nº 160/2004 do CONTRAN (2004) afirma que:

Sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária que se utiliza de linhas, marcações, símbolos e legendas, pintados ou apostos sobre o pavimento das vias. Têm como função organizar o fluxo de veículos e pedestres; controlar e orientar os deslocamentos em situações com problemas de geometria, topografia ou frente a obstáculos; complementar os sinais verticais de regulamentação, advertência ou indicação. Em casos específicos, tem poder de regulamentação (CONTRAN, 2004; MURAKAMI, 2017, p. 26).

Por outro lado, o Guia Prático do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR – LEGAL, determina que:

A sinalização horizontal deve ser adequada de forma a atender critérios que garantam condições mínimas de segurança viária em relação a sua visualização com o veículo em movimento na velocidade praticada no trecho de forma a proporcionar tempo hábil para tomada de decisão do motorista (BRASIL, 2015, p. 23).

Ou seja, a sinalização horizontal (Figura 24) deve transmitir aos usuários mensagens que permitem a percepção e o entendimento, ao mesmo tempo em que assegura a segurança e o ordenamento sem desviar a atenção do sentido e fluxo da via (MURAKAMI, 2017).

Em relação à sinalização semafórica, essa é um subsistema da sinalização viária composta por indicações luminosas acionadas por meio de sistema eletromecânico ou eletrônico e tem por finalidade transmitir diferentes mensagens aos usuários e é classificada de acordo com a função exercida, ou seja:

- a) De regulamentação: tem a função de efetuar o controle do trânsito numa interseção ou seção de via, através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres;
- b) De advertência: tem a função de advertir sobre a existência de obstáculo ou situação perigosa, devendo o condutor reduzir a

velocidade e adotar as medidas de precaução compatíveis com a segurança para seguir adiante. (MOBILIZA, 2017, p. 21).

Quanto aos tipos de semáforos, na sinalização de regulamentação o semáforo é o conjunto obtido pela montagem de um ou mais focos luminosos com suas faces voltadas para o sentido do movimento: veicular (exceto ciclista), veicular direcional, veicular direção livre, veicular controle de acesso específico, veicular controle ou faixa reversível, pedestres, ciclistas (MOBILIZA, 2017).

Os semáforos de advertência devem ser formados por um ou dois focos amarelos em funcionamento intermitente e, no caso de obras, a sinalização deve ser adaptada às suas características e da rodovia onde a obra será executada ou implantada, devendo ter boa legibilidade, visibilidade e credibilidade (BRASIL, 2010; MOBILIZA, 2017).

Assim, é preciso que uma sinalização de obras atenda aos seguintes requisitos:

- a) Advertir, com a necessária antecedência, a existência de obras ou situações de emergência adiante e a situação que se verificará na pista de rolamento;
- b) Regulamentar a velocidade e outras condições para a circulação segura;
- c) Canalizar e ordenar o fluxo de veículos junto à obra, de modo a evitar movimentos conflitantes, evitar acidentes e minimizar congestionamento;
- d) Fornecer informações corretas, claras e padronizadas aos usuários da via (BRASIL, 2010, p. 31).

Entende-se por dispositivos auxiliares “os elementos aplicados ao pavimento da via, junto a ela ou nos obstáculos próximos, de forma a tornar mais eficiente e segura a operação da via, compostos de materiais, formas e cores diversos” (BARBOSA, 2014, p. 15).

No caso, por exemplo, do serviço de conservação de uma rodovia pode ser definido como intervenções realizadas diariamente de caráter rotineiro ou eventual, com a finalidade de preservar as características técnicas e físico-operacionais de todo o sistema rodoviário, de forma a promover conforto e segurança para os usuários (DNIT, 2020).

Ainda de acordo com o Manual de Conservação Rodoviária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2020), as atividades de conservação de uma rodovia possuem prazo para correção, pois algumas devem ser executadas num prazo determinado de acordo com a importância e grau de dificuldade da atividade. Dessa forma, executam-se serviços de roçada, desobstrução e limpeza da pista; conservação de drenagens, barreira de concreto, taludes, pontes e passarelas; coleta de lixo na rodovia e manutenção de defensas metálicas.

Como qualquer outra atividade da construção civil, a execução de serviços de conservação de uma rodovia é considerada perigosa e obras rodoviárias apresentam um número incontáveis de riscos para o usuário diante do fato de afetam o comportamento do condutor, em relação à velocidade e o tempo de reação, o que conseqüentemente representa um risco para os trabalhadores (SILVEIRA, 2010).

Para evitar erros e acidentes, ao longo de toda a obra há necessidade de se observar a legislação vigente no que diz respeito à sinalização de todo o trecho em obras o que pode ser visto em todo o trajeto de execução das atividades conforme será destacado a seguir.

A sinalização exerce papel fundamental na segurança e orientação dos motoristas e pedestres no uso das rodovias e tem como objetivo comunicar, informar aos usuários das vias públicas de forma clara e objetiva e, ao longo do trajeto das rodovias, é preciso que as informações de sinalização estejam dispostas de “modo que haja seleção entre quais são as mais importantes para se usar no momento e garantir a segurança durante o trajeto definidas no CBT” (SILVA, 2019, p. 50).

Em uma pesquisa realizada pelo CNT/SEST SENAT (2017) sobre a sinalização das rodovias federais e estaduais, foram analisados cerca de 105,814 km de rodovias federais e cerca de 43,134 km de estaduais, as quais foram consideradas como ótimo ou bom a qualidade o que representado cerca de 40,8% tinha uma sinalização adequada. Porém, 59,2% que corresponde a cerca de 62.680 km foram avaliados como ruim, regular ou inadequado (SOUZA, 2020).

A partir desse levantamento, é preciso considerar que a boa qualidade na sinalização deve ser imprescindível nas estradas, diante do fato de que a frota veicular tem aumentado bastante nos últimos anos e tanto a sinalização quanto a fiscalização devem ser primordiais para que as estradas e rodovias brasileiras sejam consideradas, pelo menos, de bom padrão (PAIVA, 2018).

Para que as estradas e rodovias estivessem legalmente aptas para o trânsito, o governo federal, através dos órgãos competentes, lançou mão de alguns programas voltados para a segurança e sinalização conforme serão descritos a seguir.

Primeiramente, o DNIT lançou o Programa PROSINAL que foi concluído em julho de 2012, e o mesmo “pretendia manter a sinalização de mais de 40.000 km de rodovias um período inicial de 24 meses” (DNIT, 2013, p. 2).

No entanto, com as prorrogações, o programa ficou ativo por 72 meses e cabia às Superintendências Regionais do DNIT nos estados, através das Unidades Locais, a seguinte responsabilidade “definição de onde, quando e que tipo de material seria empregado na rodovia. O fator regional e a falta de padronização nas soluções empregadas eram um grande desafio a ser vencido” (DNIT, 2013, p. 2).

Depois veio o Programa PRODEFENSA também instituído pelo DNIT onde se previa a reabilitação de 220 km de defensas metálicas existentes e a implantação de 200 km de novas defensas metálicas. Em 2011, foi criado também pelo DNIT o Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária denominado Programa BR-LEGAL tendo como objetivo orientar e padronizar as atividades inerentes à execução do programa através das Superintendências Regionais do DNIT nos estados ou através da Coordenação Geral de Operações Rodoviárias – CGPERT (DNIT, 2015).

O Programa BR-LEGAL, através do Regime Diferenciado de Contratação – RDC, de forma integrada, realizou os serviços de projeto básico e executivo de engenharia, implantação e manutenção de sinalização horizontal, vertical, suspensas, dispositivos de segurança viária e serviços relacionados à Engenharia de Trânsito a partir dos seguintes fundamentos: Lei nº 12.462 de 05 de agosto de 2011 e Decreto nº 7.581 de 11 de outubro de 2011 (DNIT, 2015).

Quanto aos procedimentos para a elaboração dos projetos básico e executivo, esse era constituído de cinco fases específicas: “fase 1 – Pré-análise do trecho é constituída pela identificação de elementos do projeto, índice de acidentes, polos geradores de tráfego, comportamento do motorista, condições meteorológicas, futuras melhorias, deficiências gerais e projetos pré-existentes; fase 2 – classe homogênea e análise do trecho considerando o tipo de pista, a ocupação da região lindeira e a curvatura vertical do segmento; Fase 3 – contagem e consolidação de dados realizada após a identificação das classes homogêneas dos segmentos das rodovias; fase 4 – dimensionamentos de sinalização levando em consideração as normas técnicas da ABNT, as especificações técnicas e as diretrizes do DNIT, o CTB, os Manuais Brasileiros de Sinalização de Trânsito do CONTRAN; na fase 5 – confecção do projeto” (DNIT, 2013, p. 2).

A partir do que fora esclarecido até o momento, é possível entender que a sinalização é imprescindível para a orientação dos usuários estradas e rodovias considerando que os mesmos necessitam estar cientes de seus deveres e direitos ao fazer um determinado percurso deve-se utilizar Manual de Sinalização de Obras de emergências do DNIT.

Nesse manual estão descritos os materiais a serem utilizados durante a execução da obra de forma a alertar os transeuntes sobre os horários de funcionamento das atividades, bem como a necessidade de observar a sinalização. Dentre esses materiais são descritos: os cones, supercones além de placas, suportes e material luminoso.

- a) Cones: devem atender à NBR 15071 que, ao serem utilizados à noite deverão apresentar tarjas brancas refletivas.
- b) Supercones ou Cilindro canalizador de tráfego devem ser de PVC nas cores laranja e branco fosforescente com no mínimo 3 anéis/faixas, com dimensões mínimas de 1,10 m de altura e diâmetro de 0,40 m em seu topo, possuindo peso mínimo de 6,5 kg.
- c) Placas: As placas deverão ser de chapa de fibra de vidro conforme NBR-13275, com fundo fosco. Para serviços de longa duração (diuturno), as placas deverão ser refletivas, com película de refletividade conforme NBR-14644.

- d) Suportes: Para fixação das placas e dispositivos deverão ser utilizados:
- Para New Jersey: Suporte tipo jacaré
 - Para canteiro central e lateral sem New Jersey
 - Em Serviços de Curta Duração: Cavalete com quatro pés e trava antiqueda e saco de areia para peso; Supercone com sobrepeso.
 - Em Serviços de Longa Duração: Pontaletes de madeira 8,0 x 8,0 cm pintados na cor branca.
 - Sobre pavimento: Cavalete com quatro pés e trava antiqueda e saco de areia para peso; Supercone com sobrepeso.
 - Em tela antiofuscante: Suporte lateral.
- a) Material luminoso: Para iluminação noturna, os supercones especificados nos projetos deverão ser iluminados, seguidos de marcador de alinhamento refletivo e luzes intermitentes.

Ao longo de toda a obra de manutenção e conservação da BR 040 muitas outras placas de sinalização são utilizadas e a necessidade dessas placas é a de que as mesmas devem ser capazes de orientar os usuários, mantendo a atenção e a confiança deles, de forma que, em tempo adequado eles possam reagir a essas placas (CNT, 2020).

Ou seja, as informações devem ser claras e, para isso, vários sinais e marcas devem ser colocados em dimensões e locais apropriados e, para isso, as escolhas dependem de vários fatores que compõem o ambiente rodoviário como características físicas e geométricas da rodovia, velocidade operacional, relevo, tipo e intensidade de ocupação lateral da via (CNT, 2020).

Não obstante essas características, as condições de percepção dos usuários da via devem nortear a concepção e a implantação da sinalização de trânsito, de modo a garantir a real eficácia dos sinais. Para tanto, devem ser assegurados os princípios da legalidade, suficiência, padronização, clareza, precisão e confiabilidade, visibilidade e legibilidade e manutenção e conservação. A responsabilidade pelo atendimento a esses princípios e, assim, por uma adequada sinalização viária, é do órgão ou entidade com

circunscrição sobre a via, o qual responde, inclusive, por sua falta, insuficiência ou incorreta colocação, conforme estabelece o CTB em seu art. 90 (CNT, 2020, p. 16).

Nesse sentido, é preciso compreender que, em obras nas rodovias, a sinalização temporária tem como objetivo orientar os usuários da existência de obras e/ou obstáculos nas vias e, para isso, é necessário que as empresas tenham conhecimento do Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias do DNIT (NETO, 2015).

A execução de serviços de manutenção do pavimento e de obras em rodovias, em especial, assim como a ocorrência de situações de emergência, são fatores que determinam o surgimento de problemas de fluidez e segurança na circulação de veículos. Situações deste tipo constituem-se em fatos imprevistos para quem está dirigindo ao longo da rodovia, em condições de velocidade relativamente constantes. Junto a trechos em obras, acidentes podem ocorrer devido à implantação de sinalização que venha a transmitir informações confusas ou contraditórias. Essa situação pode ser agravada pela implantação de sinais a distâncias incorretas ou pela escolha e implantação de dispositivos de canalização e controle inadequados ou em número insuficiente (NETO, 2015, p. 12).

No entanto, ao realizar obras nas rodovias, a empresa precisa ter um planejamento adequado para a execução dos serviços ou desenvolvimento de projeto que envolvam desviam de trânsito e, assim, obter um controle seguro de todo o fluxo de tráfego e, para que as atividades de manutenção e conservação das rodovias aconteça de forma segura é preciso que a sinalização apresente as seguintes informações:

- a) Advertência antecipada da existência da obra ou de situações de emergência ou situação em que se verificará na pista de rolamento;
- b) Regulamentação da velocidade e outras condições para a circulação segura;
- c) Canalização e ordenação do fluxo de veículos junto à obra, evitando movimentos conflitantes, acidentes ou minimizando o congestionamento;
- d) Fornecimento de informações corretas, claras e padronizadas aos usuários da via.

Lembrando que:

A sinalização deve estar sempre adaptada às características da obra e da rodovia onde será implantada. Deve apresentar boa legibilidade, visibilidade e credibilidade. Dessa forma, as condições básicas que determinam a escolha

do tipo e quantidade de sinais e dispositivos e suas características estão dispostas no Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias (CNT, 2020, p. 18).

Dentre os tipos de sinalização a serem utilizadas nas obras em rodovias devem constar a vertical, horizontal, dispositivos de canalização e segurança, dispositivos e procedimentos de segurança e outros que são importantes para manter a segurança no desenvolvimento das atividades tanto dos usuários quanto dos funcionários.

- a) Sinalização vertical: utilizada quando da execução de obras, é composta principalmente de sinais de advertência e de regulamentação. Sinais de indicação são necessários quando a localização das obras determina a necessidade de desvios de fluxos de veículos. “Esses sinais têm por objetivo advertir os usuários sobre as condições do tráfego na via, regulamentar a circulação de trânsito e fornecer indicações necessárias ao seu deslocamento” (CNT, 2020 p. 20).

Esses sinais verticais possuem cores específicas de acordo com a sua utilização:

- Sinais de regulamentação: fundo branco, orla e tarja vermelhas e símbolos pretos, com exceção do sinal de parada obrigatória R-1;
- Sinais de advertência: fundo laranja e orla, legendas e símbolos pretos;
- Sinais de indicação: fundo laranja e orla, legendas e símbolos pretos.

Esses sinais possuem dimensões, diâmetro circulares de regulamentação, posicionamento e materiais devidamente especificados no Manual de Sinalização Rodoviária e nas Especificações do DNIT (CNT, 2020).

Quanto à sinalização vertical de advertência de obras, esses apresentam geralmente forma quadrada com uma diagonal horizontal. Em relação à sinalização vertical de regulamentação, as placas têm como objetivo regulamentar as condições de circulação na via.

Quanto à sinalização vertical voltada para a indicação de obras, essa é necessária devido ao fato de ser relevante o bloqueio total ou parcial da pista onde ocorrem as atividades.

Além disso, é preciso considerar sempre que, ao realizar qualquer tipo de obra em rodovias é necessário que a empresa responsável tenha um projeto de trabalho consistente onde são descritos todos os trabalhos a serem realizados de acordo com a localização das atividades conforme consta no Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias (CNT, 2020).

3 METODOLOGIA

Entende-se por Metodologia como um caminho para se realizar alguma coisa, ou seja, é o método a ser empregado para se alcançar o conhecimento a respeito de um determinado assunto, ou seja, “a metodologia vai ser o campo de estudo que se baseia em entender os melhores caminhos ou métodos em um determinado estudo para que se chegue a produção do conhecimento” (LAKATOS; MARCONI, 2007; PRODANOV e FREITAS, 2013, p. 9).

Em relação aos métodos de pesquisa, esses são classificados quanto à abordagem: fenomenológico, dialético, dedutivo, indutivo, hipotético-dedutivo; quanto aos procedimentos: histórico, experimental, observacional, comparativo, estatístico, clínico, estudo de caso, etnográfico, pesquisa-ação, qualitativo e quantitativo (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa fenomenológica tem como objeto de estudo o próprio fenômeno e “busca a interpretação do mundo através da consciência do sujeito formulada com base em suas experiências” (GIL, 2019, p. 30).

A pesquisa de abordagem dialética é empregada em pesquisa qualitativa em que os fatos não são considerados fora do contexto social isso porque as contradições dão origem a outras contradições e, por isso, é preciso encontrar soluções (GIL, 2019).

Em relação ao método indutivo, esse “considera o conhecimento baseado na experiência, indo das constatações mais particulares às leis e teorias e a generalização deriva de observações de casos da realidade concreta” (PEREIRA et al., 2018, p. 28).

Já o método dedutivo prevê a ocorrência dos fenômenos particulares, ou seja, “partindo das teorias e leis, em que a partir de um problema, são feitas a dedução das

consequências a serem testadas ou falseadas das hipóteses levantadas e que podem ou não ser confirmadas” (PEREIRA et al., 2018, p. 28).

O método hipotético-dedutivo inicia-se por uma percepção de uma lacuna nos conhecimentos, acerca da qual formula hipóteses e, pelo processo de inferência dedutiva, testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese” (PEREIRA et al., 2018, p. 28).

O procedimento histórico consiste na investigação de acontecimentos ou de instituições do passado para compreender suas bases, funções e natureza e é muito utilizado em Ciências Naturais e Físicas (PEREIRA et al., 2018).

Por outro lado, o método observacional é utilizado em Ciências Sociais e suas características estão fundamentadas nos dados primitivo e ao mesmo tempo moderno, sem interferência do pesquisador já que acontece apenas a observação e análise dos fatos (PEREIRA et al., 2018).

No método comparativo ocorre a análise e investigação de indivíduos, classes, fenômenos ou fatos ressaltando diferenças e igualdades, possibilitando a análise comparativa de grupos sociais separados por tempo ou espaço (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Em um trabalho científico, a metodologia utiliza métodos como estatístico em que se faz o uso de uma descrição quantitativa para explicar algum acontecimento social; o clínico em que há relação direta entre pesquisado e pesquisador e é muito utilizado na psicologia através das relações sociais e individuais e em experiências subjetivas; no Estudo de Caso ocorre a análise de um caso específico a partir de debates e estudos aprofundados através da análise dos fatores e dos aspectos específicos; o Método Etnográfico descreve e analisa a sociedade de preferências as de menor número ou de pequeno porte; o Método de Pesquisa-ação busca solucionar um problema real com a participação dos envolvidos através da análise de um determinado problema e, conseqüentemente, busca uma solução para o mesmo (PEREIRA et al., 2018).

A pesquisa também pode ser qualitativa em que há análise e interpretação de dados com base na visão psicossocial de forma que haja admissão da relação entre o sujeito e a realidade. Por sua vez, o método quantitativo utiliza dados estatístico e fórmulas matemáticas para demonstrar resultados como é o caso da porcentagem, média, desvio padrão e outros (PEREIRA et al., 2018).

Além disso, a pesquisa pode ser bibliográfica realizada em livros e artigos científicos e, também, documental que é o estudo realizado em materiais que não tiveram o devido tratamento analítico, bem como ser uma pesquisa experimental com definição de variáveis e manipulação com controle e distribuição aleatória através do estudo de caso utilizando a coleta de informações sobre um determinado problema a ser estudado a partir da análise do que foi dito pela pessoas com posterior apresentação da análise quantitativa e, finalmente, apresentação das conclusões (RICHARDSON, 2012).

A pesquisa bibliográfica tem como objetivo conhecer e analisar as principais contribuições teóricas existentes sobre determinado assunto, podendo ser realizados levantamentos bibliográficos em diversos meios de pesquisa, que, “consiste no levantamento, seleção, fichamento e arquivamento de informações relacionadas à pesquisa” (AMARAL, 2007; RICHARDSON, 2012, p. 12).

Quanto à forma de abordagem, é por meio qualitativo que é um conjunto de práticas que transformam o mundo visível em dados representativos, incluindo notas, entrevistas, fotografias, registros e lembretes para compreender um fenômeno em seu contexto natural (MINAYO, 2014).

Nesse estudo utilizou-se a pesquisa de caráter descritivo, de natureza qualitativa, utilizando a revisão bibliográfica realizada em livros, periódicos, publicações encontradas em meios eletrônicos e sites específicos como Google Acadêmico, Scielo, Biblioteca Virtual e que continham as palavras-chave: rodovias; pavimentação, características, projeto e sinalização.

Resumidamente, o quadro 1 apresenta o tipo de pesquisa e suas características.

Quadro 1: Tipo de pesquisa e suas características

Tipo de pesquisa			Características	
Quanto a Natureza	Quanto a forma de Abordagem	Quanto aos Fins da pesquisa	Quanto aos Procedimentos	Tipos de Instrumentos
Aplicada	Qualitativa	Descritivo	Bibliográficos	Revisão bibliográfica

Fonte: Adaptado de (PRODANOV; FREITAS, 2013)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Ao longo do desenvolvimento do trabalho fez-se explanações sobre a importância das rodovias para o desenvolvimento do país, apresentou-se as características da pavimentação rodoviária, descreveu-se as etapas de um projeto de execução de uma obra de pavimentação e, também, fez-se um relato da importância e os tipos de sinalização que devem estar presentes durante a realização de uma obra de pavimentação e, nesse momento, será apresentada uma análise e discussão sobre o tipo de pavimento a ser utilizado, bem como os custos que cada tipo apresenta.

Para se realizar uma obra de pavimentação é importante realizar estudos prévios sobre o terreno e o tipo de pavimento a ser utilizado. Alguns estudos apresentam a pavimentação rígida como a mais vantajosa tendo em vista que ela possui maior resistência e proporciona maior segurança aos motoristas, especialmente no caso de pistas molhadas (SALOMÃO; FROÉS, 2020).

Dentre as vantagens do pavimento de concreto podem ser citadas: diminuição no número de acidentes, elevada resistência às mudanças de temperatura, diminuição considerável no uso de combustível, redução de gastos com iluminação pública, não sobre grandes deformações, proporciona segurança aos usuários, dentre outras (CARVALHO, 2007).

A pavimentação flexível, por sua vez, pode ser menos vantajosa diante do fato de que ela, quando molhada, pode se tornar mais escorregadia o que, certamente, acarretaria acidentes e, além disso, por ter coloração escura, a mesma dificulta a visibilidade dos motoristas em períodos noturnos (SALOMÃO; FROÉS, 2020).

Além disso, pode-se também afirmar que:

A pavimentação flexível contribuiu para os gastos em energia elétrica, e com a degradação do meio ambiente, levando em conta que um dos elementos utilizado em sua produção é o petróleo, além do consumo de óleo, que o torna ambientalmente desfavorável; ao contrário do pavimento rígido, cuja coloração clara contribui para uma melhor visão da pista, seja durante a noite ou em períodos chuvosos (SALOMÃO; FROÉS, 2020, p. 12).

Outro ponto negativo da pavimentação flexível é que a mesma retém e absorve a umidade; tem mais facilidade de se degradar com as mudanças de temperaturas ou chuvas constantes o que diminui a sua durabilidade que pode chegar a ser reduzida para 10 anos e, também, por não necessitar de juntas de dilatação, é uma opção de menor custo, já que possui melhor sinalização e a tinta utilizada possui maior durabilidade (SALOMÃO; FROÉS, 2020).

Outro dado importante sobre o pavimento rígido é:

O pavimento rígido apresenta a curto prazo melhor custo/benefício, a princípio é necessário ser feito grandes investimentos, mas ao analisarmos a longo prazo, com todas as manutenções necessárias do pavimento flexível o revestimento de concreto pode ser considerado mais viável economicamente. O custo para investir inicialmente no pavimento rígido é relativamente maior que o custo inicial para a construção do pavimento asfáltico, porém, quando se compara o investimento total e a vida útil, o pavimento feito de concreto leva vantagem (CNT, 2017; PEREIRA, 2019, p. 29).

Quanto à vida útil do pavimento, essa envolve as cargas que vêm dos veículos, aos tipos de materiais inseridos na sua composição, além de outros fatores. No caso do pavimento rígido, a sua vida útil é estimada em 20 anos mais ou menos, enquanto o flexível possui vida de aproximadamente 10 anos (GUIMARÃES NETO; SANTOS FILHO, 2011).

No caso da segurança, o pavimento rígido apresenta menor índice de acidentes quando comparado ao flexível devido ao fato de que o rígido possui mais resistência a agentes químico e ao processo de aquaplanagem. “No revestimento de concreto a velocidade que a água escoar é maior, eliminando das rodovias as lâminas de água comuns em dias de chuva” (VINOZZI, 2015; PEREIRA, 2015, p. 30).

Quanto às características físico-químicas, afirma-se que:

Os pavimentos devem ser resistentes a diversos tipos de sobrecargas e agentes que afetam sua estrutura interna e externa. Em revestimentos de concreto a resistência é maior, não sendo afetados por óleos, graxas e combustíveis, porém, o pavimento asfáltico é sensível a estes agentes, tendo

grandes problemas quando submetido aos agentes citados. Para Neto (2011), é necessário fazer a manutenção em pavimentos sempre que este apresentar problemas em sua utilização. Os agentes podem ser a causa de diversos defeitos no revestimento, devendo ser feito o tratamento adequado para cada caso (NETO, 2011; PEREIRA, 2019, p. 30).

Em relação às patologias, o pavimento de concreto por deformar-se com maior facilidade apresenta diversos problemas em sua estrutura, tendo em vista que as cargas dos veículos são transferidas para as camadas inferiores e, devido a isso, ele apresenta maiores patologias, além disso, o uso de materiais de má qualidade e o processo de execução da obra quando realizado de maneira incorreta também auxiliam no surgimento de patologias, juntamente com a sobrecarga advindas dos veículos, acima dos valores estimados para o projeto (BALBO, 2007).

Algumas deformações apresentadas pelos pavimentos são descritas como afundamentos, fissuras e trincas. Os afundamentos são conhecidos quando ocorrem afundamento local possui extensão de até 6 metros e os afundamentos em trilhos de rodas ocorrem quando a extensão é superior a 6 metros e são típicos dos pavimentos flexíveis (DNIT, 2006; PEREIRA, 2019).

Quanto às fissuras e trincas possuem como causa a fadiga do revestimento devido ao grande fluxo de veículos de maneira repetitiva. Enquanto as fissuras não causam problemas funcionais ao revestimento, as trincas, por sua vez, podem ser de tamanhos variados e podem causar acidentes e desconfortos aos usuários e são típicas dos pavimentos de concreto e estão relacionadas tanto à estrutura quanto à funcional (BALBO, 2007).

Quando as cargas advindas do fluxo causam trincas que se espalham pelo revestimento chamamos de patologia estrutural. A patologia funcional é quando a segurança das pessoas é afetada, a rugosidade do revestimento advindas da retração plástica prejudicam a dirigibilidade (BALBO, 2007; PEREIRA, 2019, p. 31).

Quanto às causas das fissuras e trincas, essas são descritas da seguinte forma:

As fissuras e trincas são patologias comuns nos dois tipos de pavimentados apresentados, no pavimento rígido este problema está ligado diretamente com a forma errada de execução, não respeitando o tempo de cura do concreto. Nos revestimentos flexíveis, esta patologia ocorre devido à má dosagem da mistura ou em casos que ocorre compactação em excesso ou em momentos inadequados (BALBO, 2007; PEREIRA, 2019, p. 32).

A escolha de um pavimento rígido e flexível é importante não apenas em relação aos custos, mas também em relação a outros fatores como durabilidade, manutenções, dentre outras, porém, muitos defendem o pavimento rígido também chamado de pavimento de concreto tendo em vista que:

Oferece maior segurança e conforto para os motoristas, além de economia e rapidez para quem constrói. Possui alta durabilidade e baixo custo de manutenção. Conforme manual do DNIT (2006), o pavimento de concreto possui uma rigidez elevada comparada às suas camadas inferiores, absorvendo grande parte das cargas oriundas dos veículos. Tendo essa como uma de suas principais características, é comum sua aplicação em aeroportos, corredores de ônibus, estradas e avenidas devido a maior resistência e durabilidade (DNIT, 2006; PEREIRA, 2019, p. 40).

Resumidamente, a tabela 1 apresenta uma comparação entre os tipos de pavimentos rígidos e flexíveis.

Tabela 1 – Comparativo entre pavimento flexível e rígido

Pavimento flexível	Pavimento rígido
Formado por estrutura complexa, requer escavações e movimentação de terra.	Formado por estrutura simples
É extremamente sensível por produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis)	Devido a sua composição, este pavimento é muito resistente aos ataques químicos.
Deve ser feito frequentemente manutenções.	Pequena necessidade de manutenção.
Muita aderência para demarcações.	Devido ao baixo nível de porosidade, este apresenta falta de aderência em demarcações.
Vida útil estimada em 10 anos.	Vida útil estimada em 20 anos.
Apresenta custo inferior se comparado ao rígido.	Apresenta custo de investimento elevado, mas devido às vantagens o custo a longo prazo é mais compensatório.
Quando necessárias manutenções, este pavimento admite o conserto apenas no local afetado.	Este pavimento quando necessárias manutenções devem-se refazer toda a placa de concreto afetada.

Fonte: PEREIRA, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte de cargas no Brasil é realizado, em sua grande maioria, através do modal rodoviário diante do fato de que as autoridades têm se preocupado muito com o desenvolvimento logístico desse tipo de via de transporte.

Considerando que o transporte de cargas é essencial para o desenvolvimento do país e que grande parte da produção das indústrias e da agropecuária são movimentadas por rodovias federais e estaduais, é preciso ter em mente que essas rodovias devem

fornecer condições adequadas para que esse tipo de transporte seja realmente uma realidade que atenda às exigências legais no que diz respeito à conservação, manutenção e, também, a sinalização das obras.

Diante dos estudos realizados nesse trabalho, foi possível compreender que a pavimentação é de grande relevância para o tráfego de veículo, pois, quando as rodovias federais e estaduais estão em conservação adequada, elas atendem às necessidades do país para realizar os mais diferentes tipos de transportes sejam eles de cargas diversas ou de veículos de pequeno e médio porte, contribuindo, assim, para a diminuição de acidentes e atrasos nas viagens.

Nesse sentido, é preciso ter conhecimento de toda a movimentação da rodovia como é o caso do número de veículos e do peso que a rodovia recebe em um determinado período de tempo. Para isso, é preciso que o engenheiro responsável pela obra de pavimentação tenha em mãos um projeto consistente de pavimentação em que são considerados itens como o custo, o tipo de pavimento, a sinalização ao longo da obra e a durabilidade do pavimento.

Foi possível compreender que o pavimento rígido apresenta maiores vantagens, porém, ele traz um custo elevado para o país, mas garante maior durabilidade do trabalho de pavimentação, apresenta maior aderência dos pneus, segurança aos usuários e tem maior resistência aos compostos químicos como óleos, combustíveis e chuvas e outros fatores naturais.

Já o pavimento flexível apresenta menor custo e a obra é menos onerosa para os cofres públicos, porém, ele apresenta menor durabilidade, pode apresentar rachaduras ao longo do tempo e tem menos aderência dos pneus em caso de estar molhado ou mesmo com óleo e produtos químicos espalhados ao longo do mesmo o que, possivelmente, causa maiores problemas aos usuários como a possibilidade de acidentes.

Outro ponto importante destacado no trabalho diz respeito à importância da sinalização ao longo da obra de pavimentação, pois, a mesma deve ser respeitada tanto pelas empresas contratadas para realizar os serviços de manutenção e conservação quanto

pelos usuários e, para que isso ocorra, os sinais de advertência e de qualquer tipo de aviso de obras devem estar adequadamente postos ao longo das rodovias.

Essas orientações são realizadas através de placas verticais ou horizontais e a empresa deve estar atenta às mesmas de forma que a segurança tanto dos trabalhadores quanto dos usuários estejam garantidas. Porém, essas sinalizações devem estar livres de sujeiras, em local visível, amparadas pela legislação nacional que prevê e garante os direitos e deveres dos usuários das vias.

A sinalização de obras nas rodovias é algo que precisa ser continuamente respeitado e revisto pelas empresas, pois, garantem o bom andamento das obras especialmente no caso de manutenção e conservação e, para que tudo ocorra dentro dos parâmetros estabelecidos pelas leis vigentes no Brasil, a preocupação deve se estender também aos trabalhadores que devem utilizar Equipamentos de Proteção Individual, estar ciente dos Equipamentos de Proteção Coletiva, das inúmeras formas de se evitar que trabalhadores e usuários estejam expostos a acidentes.

Ou seja, uma obra de pavimentação precisa atender às normas regulamentadoras desse tipo de atividade como um projeto de trabalho consistente, escolha pontual do tipo de pavimento que melhor atenda às necessidades da rodovia, correta sinalização dos trechos em obra e do interesse das autoridades em permitir que os usuários possam trafegar pelas rodovias federais e estaduais de forma mais segura possível.

REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L.B. et al. *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL, Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DNIT 095/2006 EM: cimento asfáltico de petróleo – especificação de material. Rio de Janeiro: 2006.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes. *Pesquisa Rodoviária*, 2007.

CNT. *Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas 2018*. Brasília: CNT, 2018.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. *Transporte Rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?* Brasília, CNT, 2017.

COSTA, J.S. Análise comparativa de alternativas para pavimentação de rodovias: pavimento flexível x pavimento rígido. Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.

CZERWONKA, M. Afinal, o que é o trânsito? Uma contribuição da psicologia. Site Portal do trânsito. Disponível: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/afinal-o-que-e-transito-uma-contribuicao-da-psicologia-2>

DEER/MG. Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária. Vol. IV – Estudos Geológicos e Geotécnicos, 2011.

DNIT, Manual de Estudos de Tráfego (Publicação IPR-723), 3ª edição, Rio de Janeiro, 2006.

DNIT, Manual de Pavimentação (Publicação IPR-719), 3ª edição, Rio de Janeiro, 2006.

FONSECA, Luiz Felipe da Silva da. Análise das Soluções de Pavimentação do CREMA 2ª Etapa. Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (Dissertação). Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

GANGA, G.M.D. Guia prática de conteúdo e forma. (Dissertação). Engenharia de Produção. São Paulo: Atlas, 2012.

GRECO, J. A. S. Cargas Rodoviárias e Tráfego. Notas de Aula – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2013. Disponível em: <http://etg.ufmg.br/~jisela/>

GUERREIRO, G. C. M. Sinalização de interseções rodoviárias de nível. (Dissertação) Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2012.

MARQUES, G. L. O. Pavimentação. Notas de Aula – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.

MURAKAMI, A. M. Análise da implantação de tachas na sinalização de bordo em rodovias federais: o caso das rodovias BR 010, BR 153 e BR 235/TO. (Dissertação). Curso de Especialização em Operações Rodoviária do Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Brasília: 2017.

PINTO, S; PINTO, I. E. Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnica da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale,

RENZ, E. M. Avaliação da retrorrefletividade de pintura de demarcação viária horizontal em trechos da BR 287 e RS 509. 2015. 77p. (Dissertação). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

SÁ FREIRE, Renato Teixeira de. Trânsito: um problema urbano. (Dissertação). Curso de Especialização em Engenharia Urbana. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

SALOMÃO, P. E. A; FRÓES, L.M.M. Pavimentação rodoviária: uma análise de qual melhor tipo de pavimento para as rodovias brasileiras. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.02, 2020/02 ISSN 2178-6925

SOUSA, M. J. Patologias em Pavimentos Flexíveis. (TCC). Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2015.