



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CIDADE UNIVERSITÁRIA DOM DELGADO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

WILLIAN DE JESUS MELONIO PENHA

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA PARA DETERMINAÇÃO DO ESTADO
DE CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO: ESTUDO EM TRECHO
DA AVENIDA DANIEL DE LA TOUCHE EM SÃO LUÍS – MA**

São Luís – MA
2019

WILLIAN DE JESUS MELONIO PENHA

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA PARA DETERMINAÇÃO DO ESTADO
DE CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO: ESTUDO EM TRECHO
DA AVENIDA DANIEL DE LA TOUCHE EM SÃO LUÍS – MA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. DSc. George Fernandes Azevedo.

São Luís – MA
2019

WILLIAN DE JESUS MELONIO PENHA

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA PARA DETERMINAÇÃO DO ESTADO
DE CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO: ESTUDO EM TRECHO
DA AVENIDA DANIEL DE LA TOUCHE EM SÃO LUÍS – MA**

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Civil da Fundação
Universidade Federal do Maranhão, como
requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. DSc. George Fernandes
Azevedo.

Aprovado em 09 de dezembro de 2019:

BANCA EXIMINADORA

Orientador: Prof. DSc. George Fernandes Azevedo

Prof. MSc. Katarini Wanini Gonçalves de Araújo

Prof. MSc. Fábio Dieguez Barreiro Mafra

São Luís – MA
2019

“Apronto agora os meus pés na estrada. Ponho-me a caminhar sob sol e vento. Eles secam as lágrimas, vou ali ser feliz e não volto.”

Caio Fernando Abreu

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por me propiciar saúde para seguir minha caminhada e me ajudar nos momentos em que ela se torna difícil. Aos meus pais Terezinha de Jesus Melonio Penha e José Manoel Cutrim Penha e minha irmã Manuelle de Jesus Melonio Penha, que apesar de toda luta e sacrifício me ajudaram firmemente nessa jornada, por confiarem em mim e apoiarem todos os meus planos e sonhos. Agradeço, também, à Universidade Federal do Maranhão pela excelência em ensino e também aos docentes que me acompanharam durante esse ciclo da minha vida, eles foram de suma importância para a construção do conhecimento técnico que hoje possuo.

RESUMO

A malha viária das cidades é construída a partir de técnicas de pavimentação que em sua maioria se classificam como flexíveis, sendo assim composta de ligantes asfálticos betuminosos. Essa técnica possui um custo relativamente mais acessível quando comparada a outras, porém sua vida útil possui durabilidade inferior, desvantagem essa que acaba acentuando-se quando associada à falta de manutenção das vias. A deterioração prematura acaba afetando negativamente a comunidade usuária das vias. Porém, a falta de dados sobre o estado das ruas urbanas é uma deficiência nacional que dificulta tal ação. Este trabalho vem trazer um panorama geral sobre o estado de uma via típica de grande fluxo de veículos na cidade de São Luís – MA, trazendo dados para suprir parcialmente a carência de informações sobre essa via. Analisou-se um trecho de um único sentido da avenida Daniel de La Touche e a partir da aplicação da avaliação normatizada por DNIT-PRO 006/2003, foram coletados os dados referentes às ocorrências e naturezas dos defeitos para os cálculos dos Índices de Gravidade Global – IGG para que posteriormente fosse realizada a análise e classificação da condição do pavimento. O trecho escolhido possui uma extensão de 1,98 Km, após a análise dos resultados obtidos, viu-se que os mesmos não foram satisfatórios.

Palavras-chave: Pavimentação. Vias. Índice de Gravidade Global.

ABSTRACT

The road network of the cities is built from paving techniques that in their majority are classified as flexible, being thus composed of asphalt bituminous binders. This technique has a relatively more accessible cost when compared to others, but its useful life has lower durability, a disadvantage that is accentuated when associated with the lack of maintenance of the roads. The premature deterioration ends up negatively affecting the road user community. However, the lack of data on the state of urban streets is a national deficiency that hinders such action. This work comes to bring a general panorama about the state of a typical road of great flow of vehicles in the city of São Luís - MA, bringing data to partially supply the lack of information about this road. It was analyzed a stretch of only one direction of Daniel de La Touche Avenue and from the application of the evaluation standardized by DNIT-PRO 006/2003, data were collected regarding the occurrences and natures of defects for the calculations of the Global Severity Index - IGG so that it was later performed the analysis and classification of the condition of the pavement. The section chosen has a length of 1.98 km, after analyzing the results obtained, it was found that they were not satisfactory.

Keywords: Paving. Routes. Global Severity Index.

LISTA DE FIGURAS

1	Camadas de pavimento rígido	23
2	Resposta mecânica do pavimento rígido	23
3	Pavimento semi-rígido	24
4	Camadas de pavimento flexível	25
5	Resposta mecânica do pavimento flexível	26
6	Composições granulométricas	28
7	Trincas isoladas longitudinais	39
8	Trinca de retração (TRR)	40
9	Trincas de bloco	41
10	Trincas tipo couro de jacaré	41
11	Afundamento de consolidação (AC)	43
12	Afundamento plástico de trilhas de roda (ATP)	43
13	Ondulação (O)	44
14	Escorregamento (E)	45
15	Exsudação (EX)	46
16	Desgaste (D)	46
17	Panela (P)	47
18	Remendo (R)	48
19	Estaqueamento pista simples	51
20	Estaqueamento pista dupla	52
21	Localização na Avenida Daniel de La Touche e delimitação de trecho de estudo	57
22	Demarcação de estaca	60
23	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Rede subterrânea de água e esgoto	61
24	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Panela	62
25	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Afundamento Plástico na trilha de Roda	62
26	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Exsudação	63
27	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Desgaste	64
28	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Fenda e Trinca isolada	65

29	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Trincas interligadas	66
30	Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Remendo	67

LISTA DE GRÁFICOS

1	Densidade da malha rodoviária pavimentada, países selecionados (em km/1.000 km)	34
2	Investimento público federal em rodovias (Total pago), por tipo de intervenção, Brasil – 2004 a 2016	35
3	Evolução da avaliação positiva (Ótimo ou Bom) das rodovias públicas federais, por variável pesquisada, Brasil – 2004 a 2016	36
4	Ocorrência de defeitos na Avenida Daniel de La Touche	68
5	Defeitos por subtrecho	69
6	Índice de Gravidade Global de cada subtrecho	70

LISTA DE TABELAS

1	Graduação das misturas asfálticas e suas características	28
2	Graduação das misturas asfálticas e suas características	29
3	Classificação dos tratamentos e suas características	31
4	Função e mecanismos de degradação das camadas de um pavimento	32
5	Classificação das condições do pavimento	51
6	Conceito do Valor de Serventia Anual	52
7	Conceitos do pavimento em função do ICPF	53
8	Características da Avenida Daniel de La Touche	56
9	Características do trecho de estudo	56
10	Frequência absoluta e relativa dos defeitos na Avenida Daniel de La Touche	67
11	Subtrechos	69
12	Conceito dos segmentos e seus valores de IGG	70

LISTA DE SIGLAS

AC	Afundamento de Consolidação
ACL	Afundamento de Consolidação Local
AP	Afundamento Plástico
ATC	Afundamento de Consolidação de Trilha de Roda
ATP	Afundamento Plástico de Trilha de Roda
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CP	Corredor Primário
D	Desgaste
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	Escorregamento
EAP	Emulsão Asfáltica de Petróleo
EX	Exsudação
FI	Fissuras
FWD	<i>Falling Weight Defectometer</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICPF	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis
IES	Índice do Estado do Pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IGI	Índice de Gravidade Individual
J	Trinca “Couro de Jacaré”
JE	Trinca “Couro de Jacaré” com Erosão
O	Ondulação
P	Panela
PIB	Produto Interno Bruto
PSR	<i>Present Serviceability Ratio</i>
R	Remendo
TB	Trinca de Bloco

TE	Trinca de Bloco com Erosão
TLC	Trinca Longitudinal Curta
TLL	Trinca Longitudinal Longa
TRR	Trinca de Retração
TTC	Trinca Transversal Curta
TTL	Trinca Transversal Longa
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
VMD	Volume Médio Diário
VSA	Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Aspectos Gerais	17
1.2. Justificativa	19
2. OBJETIVOS	20
2.1. Geral	20
2.2. Específicos	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1. Estrutura e tipos de pavimentos	21
3.1.1. Camadas do pavimento.....	21
3.1.2. Pavimento rígido.....	22
3.1.3. Pavimento semi-rígido	24
3.1.4. Pavimento flexível	24
3.2. Revestimento Asfáltico	26
3.2.1. Penetração invertida	27
3.2.2. Penetração direta	27
3.2.3. Misturas usinadas a quente	28
3.2.4. Misturas usinadas a frio.....	29
3.2.5. Mistura <i>in situ</i>	29
3.2.6. Tratamentos superficiais	30
3.3. Fatores que influem no desempenho do pavimento flexível	31
3.4. Cenário nacional	33
3.5. Patologias funcionais	37
3.5.1. Fendas	37
3.5.2. Afundamento.....	41
3.5.3. Ondulação ou Corrugação	44
3.5.4. Escorregamento.....	44
3.5.5. Exsudação	45
3.5.6. Desgaste	46
3.5.7. Panela ou Buraco	47
3.5.8. Remendo.....	47
4. MATERIAIS E MÉTODOS	55
4.1. Considerações iniciais	55
4.2. Determinação do trecho de pesquisa	55
4.3. Avaliação funcional do pavimento	58
4.3.1. Levantamento dos dados	58

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1. Levantamento de dados	60
5.2. Análise geral	67
5.2.1. Divisão em subtrechos homogêneos	68
5.2.2. Índice de Gravidade Global	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES	76

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos Gerais

As vias rodoviárias e urbanas, além de ligar dois ou mais pontos possuindo atribuição fundamental de permitir movimentação e circulação de mercadorias e pessoas, têm um representativo papel social e econômico para as regiões afetadas já que tais obras civis trazem benfeitorias, principalmente econômicas, para esses pontos.

Desta forma, aponta-se a pavimentação como melhor escolha quando se vai construir estradas, pois leva maiores benefícios concordantes com suas funcionalidades. Caracteriza-se o pavimento como uma estrutura construída sobre uma superfície obtida através dos processos de terraplanagem. A principal função do pavimento é proporcionar segurança e conforto para os usuários, o que pode ser garantido com a execução de um serviço visando a máxima qualidade e o menor custo (SANTANA *apud* MERIGHI FORTES, 2015).

Com isso, se faz necessário a adoção de métodos que possam garantir uma boa execução de todas as partes da estrutura do pavimento, respeitando as normas de controle tecnológico e de conforto, além do uso de materiais que proporcionam melhores resultados nas condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento (DNER-700-GTTR, 2015).

Apesar disso, a estrutura asfáltica, com o passar do tempo e aumento da vida útil, passa a suportar elevados graus de deformação e tensões constantes provocados e acentuados pela grande solicitação causada pelo intenso fluxo de cargas. Atualmente o sistema rodoviário brasileiro é o segmento de maior participação na matriz de transporte de cargas (61%) e o principal modo de deslocamento de passageiros, independente da distância (CNT, 2017). Essa demanda demonstra a quantidade de veículos da frota nacional que utilizam, não somente rodovias, mas também vias urbanas.

A resistência exigida em decorrência desses dados e sua associação a outros fatores leva a uma diminuição do tempo que o pavimento se encontra em estado próprio para uso. Segundo CNT (2017), as causas da diminuição da vida útil do pavimento podem ser classificadas em quatro categorias: (i) método de

dimensionamento; (ii) tecnologias e processo construtivo; (iii) manutenção e gerenciamento; e (iv) fiscalização.

Nacionalmente, nota-se que as vias se encontram em péssimo estado, por se ter um baixo investimento nos pontos citados no parágrafo anterior e com uma baixa conservação da pavimentação. Ao ser acometida, a estrutura construída deixa de atender a um dos pilares da infraestrutura de transporte que é o de propiciar conforto e segurança ao usuário. A idade dos pavimentos e a solicitação intensa do tráfego compõem o problema, onde grande parte da malha já superou a vida útil dos projetos originais (DNIT, 2006).

Contudo, não há medidas de prevenção feitas de forma mais ampla, o que ocorre, nas maiorias das vezes, são medidas corretivas para tentar garantir a trafegabilidade às ruas. Porém esse é o meio menos eficaz, além de encarecer o processo de manutenção. Segundo DNIT (2011) qualquer interrupção ou redução na intensidade ou na frequência dos serviços necessários à manutenção desse patrimônio implicará em aumentos substanciais nos custos de operação dos veículos e na necessidade de investimentos cada vez mais onerosos para recuperação da malha rodoviária.

Como auxílio a medidas preventivas e indicador para as corretivas é necessário informação técnicas para a exposição dos defeitos em pavimento asfáltico. Com isso, de acordo com Merighi Fortes (2015) o termo avaliação funcional foi introduzido para representar os processos de identificação e caracterização de diversos aspectos relacionados às condições de superfície de rolamento, incluindo questões relacionadas ao conforto e à segurança do tráfego.

De acordo com DNIT (2006), qualquer que seja o critério de avaliação adotado, a finalidade da avaliação funcional é proporcionar parâmetros indicativos das necessidades de manutenção de uma rede rodoviária ou de uma via isoladamente.

Nesse propósito o presente trabalho trata da avaliação objetiva de superfície, pela determinação do Índice de Gravidade Global (IGG), de um trecho da Avenida Daniel de La Touche em São Luís – MA. Visou-se a forma mais economicamente sustentável de manter boas condições de trafegabilidade, pois

num cenário de carência financeira, manter determinados níveis de qualidade de vias urbanas só é possível se as decisões de manutenção e reabilitação dos pavimentos forem tomadas considerando as seções mais prioritárias (LIMA, 2007).

1.2. Justificativa

Para uma metrópole brasileira, principal cidade de um estado e que cresce sem planejamento de tráfego, suportar e acomodar sua frota de aproximadamente 376.000 veículos (IBGE, 2018), é uma tarefa difícil. Assim, mesmo havendo um projeto de pavimentação elaborado para uma vida média, o tráfego intenso gera degradação relativamente rápida tendo em vista o tempo de utilização estimado inicialmente.

Este trabalho fundamenta-se na importância do diagnóstico funcional para a avaliação de pavimento asfáltico, determinação de trechos de priorização ou ainda para prever localizações que necessitarão de futura manutenção possibilitando preservação de uma boa superfície asfáltica.

Este trata-se de um levantamento referente às patologias existentes no pavimento asfáltico de um trecho da Avenida Daniel de La Touche, a qual compreende uma extensão de 6,3 km no total, porém, o trecho analisado possui uma extensão de 1,98 km. A avenida dá acesso a bairros de classes média e popular como Bequimão, Cohama, Maranhão Novo e Cohajap, passando por vários outros bairros da cidade, além de ligar a Avenida Jerônimo de Albuquerque e Avenida dos Holandeses, as quais são duas outras grandes e importantes avenidas da capital. Por isso estudo do é justificado.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Esse trabalho tem como objetivo diagnosticar através da avaliação funcional a superfície do pavimento de um trecho da Avenida Daniel de La Touche em São Luís – MA, por meio do Índice de Gravidade Global (IGG), fazendo estudo dos resultados encontrados.

2.2. Específicos

- Identificar e analisar os defeitos existentes no pavimento;
- Classificar as ocorrências aparentes através de cálculos de frequências absolutas e relativas;
- Obter o valor do IGG do trecho analisado;
- Classificar a condição do pavimento da avenida escolhida do cálculo do IGG.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Estrutura e tipos de pavimentos

A estrutura do pavimento tem a função de receber os esforços oriundos do tráfego e transmiti-los para as camadas inferiores de forma aliviada, uma vez que essas são geralmente menos resistentes (CNT, 2017). A transmissão deve ser feita de forma a garantir deformações plásticas no pavimento e com distribuições que permita ao subleito e demais camadas suportarem as cargas com maior vida útil possível.

Uma estrutura típica de pavimento é composta de: subleito, reforço de subleito, sub-base, base e revestimento. Há ainda quem considere que o pavimento é composto apenas de base e revestimento, e que, em alguns casos, essa base sofre complemento da sub-base e pelo reforço do subleito.

Quanto a classificação os pavimentos rodoviários são separados em três tipos: rígidos, semirrígidos e flexíveis. Essa classificação é dada em função da deformabilidade e dos materiais utilizados.

3.1.1. Camadas do pavimento

As camadas que compõem o pavimento rodoviário são:

Subleito: É o terreno de fundação do pavimento e, segundo Senço (2007), se a terraplenagem é recente, o subleito deverá apresentar as características geométricas definitivas. No caso de uma estrada de terra já em uso há algum tempo e que se pretende pavimentar, o subleito apresenta superfície irregular devido ao próprio uso e aos serviços de conservação. Em qualquer caso do semi-espaço infinito, apenas a camada próxima da superfície é considerada subleito, pois, à medida que se aprofunda no maciço, as pressões exercidas são reduzidas a ponto de serem consideradas desprezíveis.

Reforço de subleito: O DNIT (2006) define o reforço de subleito como a camada disposta sobre o subleito – devidamente compactado e regularizado – estabilizada granulometricamente quando o subleito necessita de maior capacidade de suporte para camadas grossas de base e sub-base. Devido ao nome de reforço do subleito, essa camada é, às vezes, associada à fundação.

No entanto, essa associação é meramente formal, pois o reforço do subleito é parte constituinte especificamente do pavimento e tem funções de complemento da sub-base que, por sua vez, tem funções de complemento da base. Assim, o reforço do subleito também resiste e distribui esforços verticais, não tendo as características de absorver definitivamente esses esforços, o que é característica específica do subleito (SENÇO, 2007).

Sub-base: De acordo com Senço (2007), é a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Segundo a regra geral — com exceção dos pavimentos de estrutura invertida — o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base.

Base: Segundo Bernucci *et al.* (2007), é a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Revestimento: Nogueira (1961) classifica-o como camada mais nobre do pavimento por garantir a proteção das camadas inferiores contra a deterioração e por precisar de grande capacidade de suporte, alta resistência ao desgaste quanto à durabilidade e ser a menos ondulada possível para proporcionar melhor conforto.

3.1.2. Pavimento rígido

Segundo DER/SP – PRO (2006), pavimento rígido é constituído por placas de concreto de cimento Portland, assente sobre camada de sub-base granular ou cimentada e, havendo sub-base cimentada, pode, adicionalmente, haver uma camada de material granular, Figura 1.

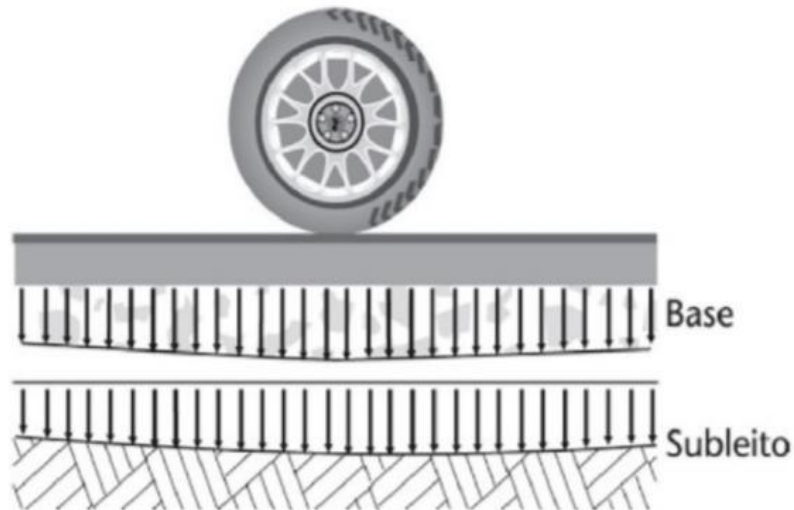
Figura 1: Camadas de pavimento rígido



Fonte: BALBO, 2015

Os esforços nesse tipo de pavimento são quase inteiramente absorvidos pelas placas de cimento Portland, a onda de carga gerada propaga-se bem distribuída pelas camadas da estrutura, Figura 2. Um pavimento rígido, verifica-se um campo de tensões bem mais disperso, com os efeitos da carga distribuídos de maneira semelhante em toda a dimensão da placa, o que proporciona menores magnitudes de esforços verticais (pressões) sobre o subleito (BALBO, 2015).

Figura 2: Resposta mecânica do pavimento rígido



Fonte: BALBO, 2015

Quirino (2013) cita como características dos pavimentos rígidos: alta rigidez; alta resistência; pequenas espessuras, definidas em função da resistência à flexão. Esse tipo de pavimento trabalha principalmente com tração,

sua deformabilidade é pequena, a vida útil é extensa e o dimensionamento é feito levando em conta a resistência da placa.

3.1.3. Pavimento semi-rígido

O DNIT (2006) caracteriza o pavimento semi-rígido como sendo o tipo de pavimento que possui uma base cimentada por algum aglutinante com bases cimentícias, como por exemplo, uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica. Os pavimentos semi-rígidos resultam da combinação dos pavimentos rígido e flexível. Mais próxima do pavimento flexível, a sua camada superior é basicamente constituída por materiais betuminosos e suas camadas inferiores, por material granular, Figura 3.

Figura 3: Pavimento semi-rígido

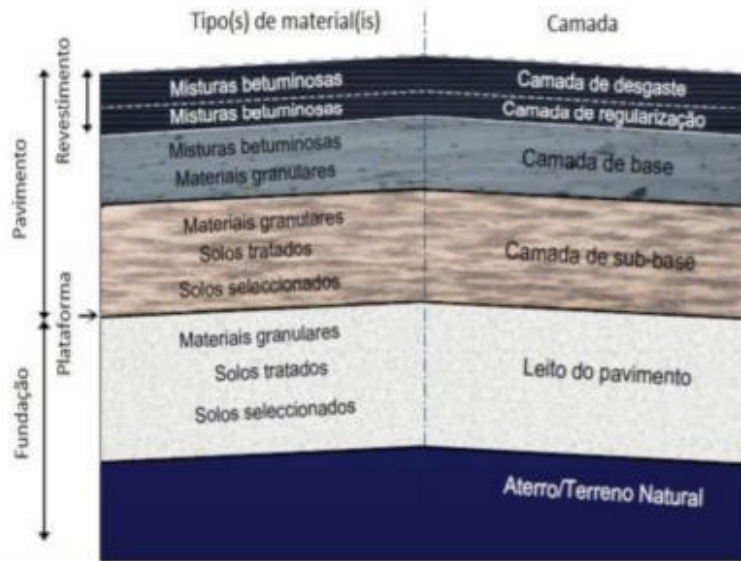


Fonte: ROSSI, 2017

3.1.4. Pavimento flexível

O pavimento flexível, o qual em geral são associados aos pavimentos asfálticos, é constituído de camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço de subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de pavimentos asfálticos (BERNUCCI *et al*, 2008). Tais camadas são passíveis de serem suprimidas de acordo com condições próprias de projeto como volume de tráfego, características ambientais, da capacidade de suporte do subleito e da rigidez e espessura das camadas. A Figura 4 mostra as camadas desse pavimento.

Figura 4: Camadas de pavimento flexível



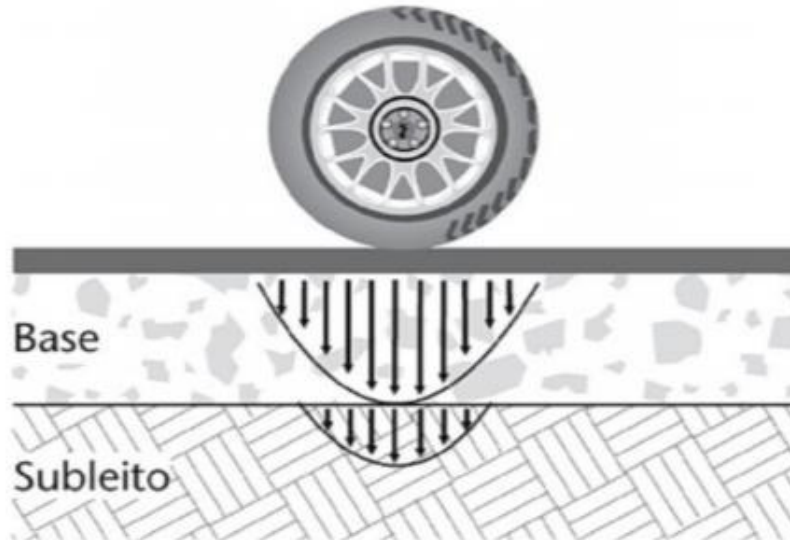
Fonte: BALBO, 2015

É importante citar que as tensões causadas pela carga do tráfego têm uma distribuição de dissipação diferente da acompanhada na pavimentação rígida, no caso flexível ela tem uma conformação verticalizada acentuada. Sendo assim as forças são absorvidas pelas diversas camadas, estando as de melhor qualidade na parte superior, o que justifica a diferença de números de camadas necessárias para um mesmo perfil de projeto entre esses tipos de pavimentação (ROSSI, 2017).

Segundo DNIT (2006), pavimentação flexível é aquela em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Esse tipo não trabalha com tração pois as camadas superiores (betuminosas) ligadas conferem resistência a esse tipo de solicitação e, por conseguinte asseguram resistência a fadiga. Seu dimensionamento tradicional tem como principal quesito de decisão a resistência do subleito, valor de CBR, e o mínimo de solicitação de eixo padrão.

A Figura 5 mostra e a resposta mecânica que esse pavimento reflete em relação as pressões concentradas.

Figura 5: Resposta mecânica do pavimento flexível



Fonte: BALBO, 2015

Em uma estrutura de pavimento, o comportamento é transiente, os solos e os materiais granulares da fundação têm comportamento tensão/deformação não-linear (que não são influenciados por diversas variáveis), e os materiais asfálticos têm suas propriedades sensíveis à velocidade de aplicação das cargas e à temperatura (GONÇALVES, 1999).

3.2. Revestimento Asfáltico

O revestimento do pavimento é a última camada existente na estrutura. Ela irá receber diretamente a ação do tráfego, impermeabilizar o pavimento e será diretamente ligada a qualidade do subleito. Para Senço (2017), dependendo da resistência do subleito, será mais espesso ou não. Além disso, o revestimento deverá ser de boa qualidade para que possa resistir aos esforços solicitantes do tráfego e também proporcionar um bom rolamento da pista, tudo com o objeto de fornecer um maior conforto ao usuário.

O revestimento é a camada que apresenta o material com maior custo da estrutura, logo, deverá ter sua espessura respeitada para que não haja a redução

da resistência do pavimento (SENÇO, 2017).

Na maior parte da malha rodoviária do Brasil é usado um tipo de revestimento constituído por uma mistura de agregados minerais com diversos tamanhos e formas, com ligantes asfálticos que são misturados e processados para garantir as condições mínimas de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O material de revestimento pode ser fabricado por misturas usinadas, fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais). Os revestimentos são também identificados quanto ao tipo de ligante: à quente com o uso de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), ou à frio com o uso de Emulsões Asfálticas de Petróleo (EAP). As misturas usinadas podem ser separadas quanto à distribuição granulométrica em: densas, abertas, contínuas e descontínuas.

3.2.1. Penetração invertida

Os revestimentos são executados a partir de uma ou mais aplicações de material betuminoso, conseguinte de idênticos números de operações de espalhamento e compressão das camadas de agregados. A nomenclatura varia de acordo com o número de camada, podendo ser chamado de tratamento superficial simples, tratamento superficial duplo e tratamento superficial triplo.

3.2.2. Penetração direta

Os revestimentos são executados através do espalhamento e compactação das camadas dos agregados com granulometria apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo. O revestimento típico por penetração direta é o Macadame Betuminoso, que tem o processo construtivo similar ao tratamento duplo e comporta espessuras variadas e bem maiores, em função do número de camadas e das faixas granulométricas correspondentes.

3.2.3. Misturas usinadas a quente

As misturas a quente distinguem-se em vários tipos de acordo com o padrão granulométrico empregado e as exigências de características mecânicas, em função da aplicação a que se destina. Um dos tipos mais empregados no Brasil é o concreto asfáltico (CA) também denominado concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Trata-se do produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante (FREITAS, 2001).

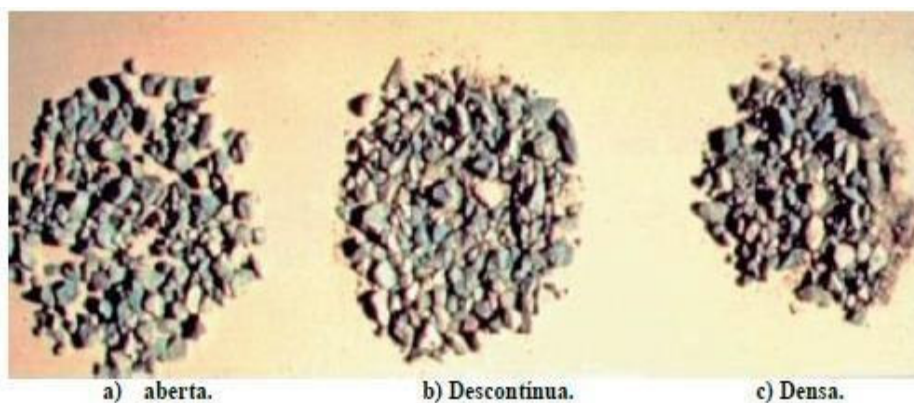
As misturas asfálticas à quente podem ser subdivididas pela graduação dos agregados e filer, onde destacam-se três tipos mais usuais nas misturas quentes:

Tabela 1: Graduação das misturas asfálticas e suas características

GRADUAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Densa	Possui uma curva granulométrica contínua e bem-graduada de forma a proporcionar uma composição com poucos vazios.
Aberta	Possui curva granulométrica uniforme com agregados quase que exclusivamente do mesmo tamanho.
Descontínua	Possui maior quantidade de grãos de grandes dimensões em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completada por finos.

Fonte: SOUZA (2018)

Figura 6: Composições granulométricas



Fonte: BERNUCCI *et al* (2008)

3.2.4. Misturas usinadas a frio

São executadas em usinas estacionárias próprias, utilizando emulsão asfáltica como ligante para os agregados, analogamente aos usinados a quente, esses agregados são arranjados de forma que atendam aos requisitos básicos do projeto. As misturas são realizadas sem a necessidade do aquecimento dos agregados, em alguns casos o ligante pode vir a sofrer um pequeno aquecimento, mas na maioria dos casos é aplicado em temperatura ambiente (BALBO, 2015).

Bernucci *et al* (2008) afirma que o usinado à frio pode ser classificado de acordo com a preposição dos agregados:

Tabela 2: Graduação das misturas asfálticas e suas características

GRADUAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Densa	Graduação contínua e bem-graduado, com baixo volume de vazios.
Aberta	Graduação aberta, com elevado volume de vazios

Fonte: SOUZA (2018)

Este tipo de mistura pode ser utilizado em camada de 30 a 70 mm de espessura compactada, dependendo do tipo de serviço e da granulometria da mistura. A mistura a frio possui algumas vantagens se comparada à quente, pois possui equipamentos mais simples, uma boa trabalhabilidade à temperatura ambiente, boa adesividade com quase todos os tipos de agregados britados, possibilidade de estocagem e flexibilidade elevada (AZEVEDO, 2001).

No Brasil, as misturas à frio não são tão difundidas, sendo utilizadas geralmente apenas como reforço da estrutura e obras de regularização, porém elas se destacam por possuir grandes vantagens devido a sua fácil execução (ROSO, 2007).

3.2.5. Mistura *in situ*

Misturas *in situ* são executadas em usinas móveis especiais onde são realizadas as misturas entre o agregado e o ligante antes da sua aplicação no pavimento. Essas misturas são utilizadas em casos de recuperação e

restauração de algumas características funcionais do pavimento. Misturas relativamente fluídas, como lama asfáltica e micro revestimento são exemplos de misturas in situ (BERNUCCI et al., 2008).

As lamas asfálticas consistem basicamente de uma associação, em consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento ou filer, emulsão asfáltica e água, uniformemente misturadas e espalhadas no local da obra, à temperatura ambiente (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Roso (2007) as diferentes granulometrias dos agregados utilizados na mistura dão origem a três tipos de lama asfáltica:

- Tipo I: Esta faixa granulométrica dá origem a uma lama asfáltica fina, usada para o máximo de penetração nas trincas e para selar superfícies com pequenos desgastes ocasionados pelo tráfego.
- Tipo II: Esta faixa granulométrica origina uma lama asfáltica em emprego geral. É o tipo mais utilizado e é empregado onde o tráfego é de veículos de médio a grande porte.
- Tipo III: Propicia uma camada mais espessa o que permite corrigir condições severas da superfície, evitando hidroplanagem e proporcionando resistência à derrapagem sob condições de cargas de tráfego

3.2.6. Tratamentos superficiais

O tratamento superficial trata-se de revestimentos betuminosos por penetração direta que consiste no espalhamento e compressão de uma camada de brita, com uma granulometria adequada à aplicação do material betuminoso (FRANCISCO, 2012).

A Tabela 3 mostra como podem ser classificados, de acordo com o DNIT (2006):

Tabela 3: Classificação dos tratamentos e suas características

TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	CARACTERÍSTICAS
Tratamentos Superficiais Simples	É a camada de revestimento do pavimento constituída de uma aplicação de ligante asfáltico coberta por uma camada de agregado mineral submetida à compressão.
Tratamentos Superficiais Duplo	É a camada de revestimento do pavimento constituída de duas aplicações de ligante asfáltico coberta por uma camada de agregado mineral submetida à compressão
Tratamentos Superficiais Triplo	É a camada de revestimento do pavimento constituída de três aplicações de ligante asfáltico coberta por uma camada de agregado mineral submetida à compressão.

Fonte: DNIT, 2006

3.3. Fatores que influem no desempenho do pavimento flexível

Dos diversos fatores podem influenciar o desempenho de um pavimento, Gonçalves (1999) destaca o número e a magnitude das cargas do tráfego, as propriedades dos materiais componentes das camadas e sua heterogeneidade ao longo da via, a natureza do solo de subleito, a frequência e as práticas de manutenção aplicadas ao longo do tempo, as condições de drenagem e aspectos ambientais. Há várias formas de medição desse desempenho, entre os que medem por avaliação funcional aos que o fazem por levantamento de defeitos ou deformações plásticas. O autor ainda cita situações que indicam o desgaste e suas possíveis causas:

- Formação e crescimento de trincas nas camadas asfálticas do revestimento, decorrentes da fadiga provocada pela repetição das cargas do tráfego;
- Geração de afundamento em trilha de roda ou de ondulações na superfície em decorrência do acúmulo de deformações plásticas em todas as camadas, sob a repetição das cargas do tráfego;
- Se a camada de base é de drenagem lenta, a formação de trincas no revestimento dá acesso a águas pluviais, que se acumulam no topo da base. Com a passagem de uma carga de roda, gera-se

um excesso de pressões neutras na água retida, levando ao bombeamento de finos da base para a superfície (erosão) e a solicitações dinâmicas elevadas sob a camada de revestimento; acelerando a sua deterioração. Se a água atingir e se acumular no topo do subleito, não sendo este drenante, aumenta a geração de deformações plásticas nessa camada e a sua intrusão na base granular;

- Envelhecimento do ligante betuminoso por oxidação, que fragiliza a mistura asfáltica e facilita seu trincamento e o arrancamento de agregados. A velocidade com que a oxidação do asfalto se processa depende das condições de temperatura, umidade e insolação. As oscilações térmicas, por sua vez, levam a formação de trincas superficiais, cujo potencial de geração é aumentado pela oxidação dos primeiros 25mm do topo da camada de asfalto;
- Desgaste com exposição de agregados e perda da macroestrutura da superfície do pavimento, em decorrência da abrasão provocada pelos veículos, acelerado pelo intemperismo (oxidação do asfalto), levando à queda do coeficiente de atrito. Este problema é especialmente grave nos revestimentos em tratamento superficial.

Na Tabela 4 encontra-se os principais agentes de degradação de acordo com a camada da pavimentação. Destaca-se as três camadas superiores por elas serem as que mais diretamente vão receber e absorver as tensões (INIR-IP, 2005):

Tabela 4: Função e mecanismos de degradação das camadas de um pavimento

CAMADAS DO PAVIMENTO	FUNÇÃO	MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO
Sub-base	- Camada estrutural; - Degradação das cargas que são induzidas pelo tráfego	- Deformação permanente excessiva.
Base	- Camada estrutural;	- Deformação permanente excessiva (materiais não tratados);

	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação das cargas que são induzidas pelo tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> - Fendilhamento por fadiga (materiais tratados com ligantes); - Fendilhamento térmico (materiais tratados com ligantes hidráulicos).
Revestimento	<ul style="list-style-type: none"> - Promover adequada circulação do tráfego com conforto e segurança; - Drenagem ou impermeabilização; - Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desgaste provocado pela ação do tráfego e condições climáticas - Deformação permanente em condições excessivas de temperatura e tráfego; - Fendilhamento por ascensão das fendas das camadas subjacentes; - Fendilhamento por fadiga devida a uma má aderência à camada subjacente; - Fendilhamento térmico.

Fonte: INIR-IP, 2005

3.4. Cenário nacional

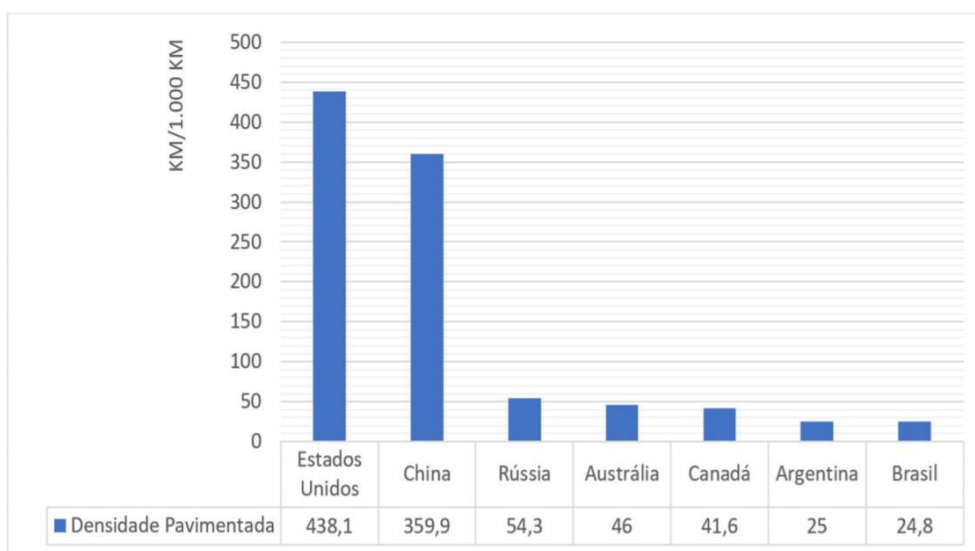
A Confederação Nacional de Transporte (CNT) desenvolve levantamentos frequentes para mapeamento do cenário nacional de transporte rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo nos últimos anos. Tais dados incluem também pesquisas qualitativas e quantitativas de rodovias e pavimentações.

Em CNT (2017) há a discriminação visada no perfil do setor rodoviário nacional, com sondagens sobre desempenhos das vias e do setor em si, levantamento de investimentos e PIB arrecadados e da infraestrutura até o ano de 2016, de descrever estratégias para a solução dos entraves do transporte rodoviário. Todos os comentários e dados expostos partem dessa publicação, por ela ser a mais atualizada, autorizada e de dados oficiais no Brasil.

A respeito da discrepância entre o Brasil e os demais países, há um levantamento instigante datado até 2016 que confronta a densidade de infraestrutura do Brasil com os Estados Unidos, China, Rússia, Austrália, Canadá e nossa vizinha Argentina. A densidade demonstra a quantidade de km pavimentados por 1.000 km² (Gráfico 1).

O Brasil que em 2016 possuía 1.720.756 km de rodovias, com apenas 211.468 km pavimentadas, 12,3% da extensão total, teve sua densidade de infraestrutura rodoviária calculada em 24,8% por 1.000 km². A densidade de cerca de 5,7% no norte americana evidencia que há necessidade do Brasil de criação de vias para interligação nacional.

Gráfico 1: Densidade da malha rodoviária pavimentada, países selecionados (em km/1.000 km)



Fonte: CNT, 2017

No Gráfico 2 está discriminado o investimento federal em cada setor viário: adequação de rodovias, construção de rodovias, manutenção e recuperação de rodovias e outros. Os dados, como os demais, foram publicados na pesquisa da CNT de 2016.

Segundo a publicação um aspecto relevante sobre o comportamento dos investimentos em infraestrutura rodoviária foi a reestruturação ocorrida a partir de 2012. A concentração de recursos deteve-se, em sua maioria, em

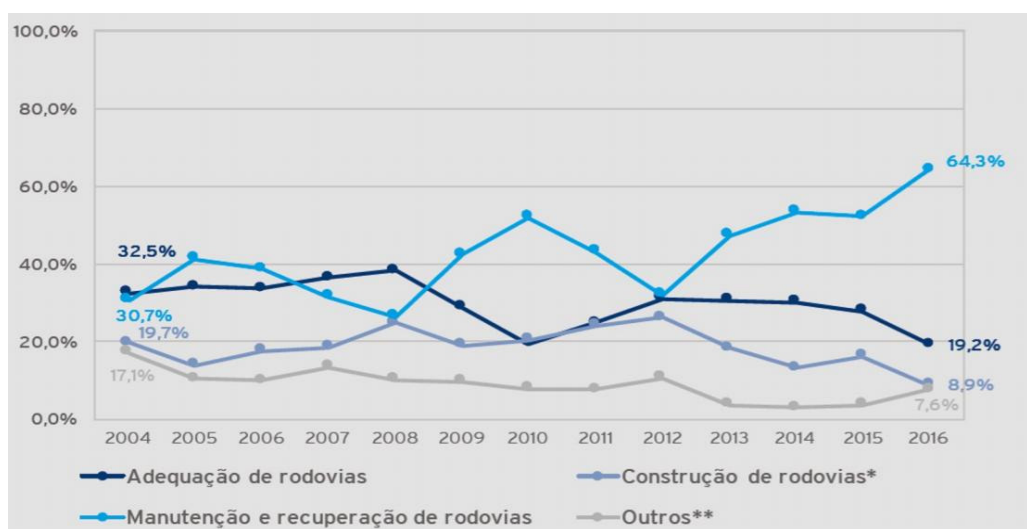
intervenções de manutenção e recuperação. Esses tipos de recursos têm aumentado sua participação no total desembolsado pelo governo federal.

Em 2004, o percentual destinado a adequação foi de 32,5% e a construção de rodovias 19,7%. Juntos formam o total de 52,2% de modificações estruturais significativas nas vias, enquanto em 2016 esse total foi de 28,1%.

Ações de recuperação e manutenção alcançou 30,7% em 2014 e 64,3% em 2016. Isso demonstra a tendência a se trabalhar mais com a manutenção e gerenciamento do que mudanças, caso os dados permaneçam na mesma progressão.

Ainda que os problemas de infraestrutura sejam perceptíveis e a posição nacional não seja das melhores em rankings internacionais é possível ver avanços em determinados pontos como o crescimento de determinadas características positivas após a crise de 2012 e da gestão de pavimentos.

Gráfico 2: Investimento público federal em rodovias (Total pago), por tipo de intervenção, Brasil – 2004 a 2016



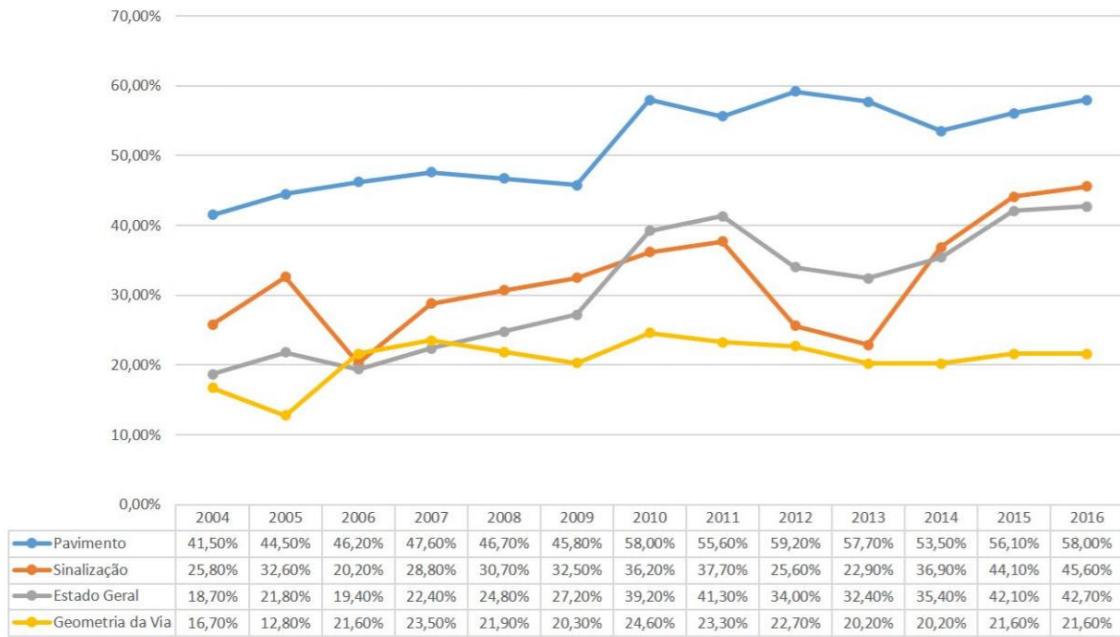
Fonte: CNT, 2017

A pesquisa mostra um parâmetro geral no que diz respeito ao estado geral da pavimentação, bem como o pavimento, a sinalização e a geometria da via.

O pavimento é o que consegue melhores classificações seguido da sinalização. A sinalização é algo relativamente barato a ser melhorado, mas que tem necessidade de um estudo minucioso da via e local em que ela é instalada.

O Gráfico 3 apresenta evolução da avaliação positiva (Ótimo ou Bom) das rodovias públicas federais.

Gráfico 3: Evolução da avaliação positiva (Ótimo ou Bom) das rodovias públicas federais, por variável pesquisada, Brasil – 2004 a 2016



Fonte: CNT, 2017

Nele nota-se à curva do pavimento e da geometria. Esse primeiro obteve seu auge no ano de 2012, quase 60% em boas ou ótimas condições, e durante todos os anos de amostragem de desempenho manteve-se acima dos demais pontos e a partir de 2010 acima pelo menos 3 pontos percentuais de 50%. A geometria, com exceção de 2006, seguiu com o pior dos três quesitos. Com um comportamento, dos três, mais perto do linear indica a falta de investimentos nos setores críticos com intuito de melhorar a qualidade da estrutura viária.

A curva da sinalização é a de comportamento mais irregular. Com momentos de grandes declínios, como entre os anos de 2011 a 2013 que acumulou uma queda de 14,8%, e outros de ascensão, 2013 a 2016. O primeiro comportamento diz sobre a falta de manutenção e gerenciamento viário, deixando passar-se 4 anos até que sofra melhoras. O segundo fato, do crescimento vertiginoso em pouco tempo, indica a facilidade de recuperação deste tipo de defeito.

Esses fatores refletem no estado geral e sofrem influência de como é o investimento de manutenção, gerenciamento e criação de vias. Quanto mais manutenções periódicas são feitas e as vias gerenciadas adequadamente, menor é a necessidade de grandes intervenções e maior é a vida útil da pavimentação.

3.5. Patologias funcionais

Patologias funcionais, segundo Silva (2008), são aquelas que afetam a segurança e as condições de dirigibilidade do pavimento. São 8 as principais patologias classificadas segundo DNIT (2003).

Por do DNIT ser referencial de patologias asfálticas brasileiro todas as descrições a seguir tem em seu primeiro parágrafo a definição retirada desta norma, seguida de elucidações diversas. Com exceção da definição de trinca isolada, trinca interligada que não tiveram aqui sua definição dada por tal norma.

3.5.1. Fendas

Qual quer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas.

Elas são divididas em dois grandes grupos de acordo com a amplitude da abertura: Fissuras e trincas. Seu grau de agressividade à pavimentação é ponderado de acordo com o grau de degradação necessário à sua formação, a partir disso recebem ponderações concordante com o defeito.

Segundo Machado (2013), esse tipo de defeito pode ser causado por: tensões de tração na fibra interior do revestimento causado pelo ciclo de carregamento e alívio das tensões do tráfego; alternância constante de temperatura; reflexão no revestimento de trincas existentes em bases cimentadas (solo cimento).

1. Fissuras (FI):

Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância a 1,50m.

2. Trincas:

Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior a da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.

a) Trincas isoladas: Prestes (2001) elenca como definidores dos espaçamentos entre trincas transversais e longitudinais as propriedades dos materiais constituintes da mistura betuminosa e o regime de temperaturas. Ele também manifesta que o trincamento longitudinal e transversal pode se desenvolver devido ao fenômeno da retração em bases cimentadas e que trincas transversais têm como causa contração térmica do revestimento e hidráulica das camadas. As trincas isoladas tem suas classificações definidas segundo tamanho da abertura e presença de erosão.

- Trinca transversa (TTC e TTL):

Trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100cm é denominada trinca transversal curta (TTC).

Quando a extensão for superior a 100cm denomina-se trinca transversal longa (TTL).

- Trinca longitudinal (TLC e TLL):
Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100cm denomina-se trinca longitudinal longa. Ambas representadas na Figura 7.
- Trinca de retração (TRR):
Trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida subjacentes ao revestimento trincado. Apresentada na Figura 8

Figura 7: Trincas isoladas longitudinais



(a) Trinca Longitudinal curta (TLC)

(b) Trinca longitudinal longa (TLL)

Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008 e DNIT, 2003

Figura 8: Trinca de retração (TRR)



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008

b) Trinca interligada: Machado (2013) diz que esse tipo de trinca é causado por contrações na mistura além da capacidade de origem térmica, contrações por variação no teor de umidade, perda da elasticidade por tempo de mistura incorreto ou misturas com temperaturas excessivas ou estocagem com tempo incorreto e base com cimento ou com solos tropicais.

- Trinca tipo bloco (TB e TBE):
Conjunto de trincas interligadas caracterizadas por blocos formados por lados bem definidos, podendo apresentar erosão acentuada nas bordas. Apresentadas na Figura 9.
- Trinca “couro de jacaré” (J e JE):
Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas. Apresentadas na Figura 10.

Figura 9: Trincas de bloco



(a) Trincas de bloco com erosão (TBE)



(b) Trincas de bloco sem erosão (TB)

Fonte: DNIT, 2003 e BERNUCCI *et al.*, 2008

Figura 10: Trincas tipo couro de jacaré



(a) Trincas tipo couro de jacaré com erosão (JE)



(b) Trincas tipo couro de jacaré sem erosão (J)

Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008 e DNIT, 2003

3.5.2. Afundamento

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.

Silva (2008) aponta que a ação repetida da passagem das cargas de roda dos pneus e o fluxo canalizado dos veículos comerciais é que causam essas deformações. Algumas vezes considera-se (erroneamente) como unicamente devido à contribuição da camada de subleito, sabe-se que, principalmente a partir da interpretação do funcionamento de um pavimento como um sistema de múltiplas camadas, os afundamentos são oriundos da contribuição de todas as camadas (BASTOS, 2010).

As deformações, que aparecem sob a forma de depressões longitudinais nas trilhas de roda, são o resultado de acumulação de pequenos afundamentos que ocorrem toda vez que um carregamento é aplicado (BERTOLLO *et al.*, 2002). O afundamento nas trilhas de rodas e trincamento por fadiga, que aceleram a deterioração da estrutura levando à necessidade de recuperação prematura das estradas, sendo as principais causas da perda de regularidade e serventia do pavimento asfáltico (ROHDE, 2007).

1. Afundamento de consolidação (AC):

Afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6m é denominado afundamento de consolidação local (ALC); quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC). Exemplificado na Figura 11.

2. Afundamento plástico (AP):

Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando em extensão de até 6m é denominado afundamento plástico local (quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda (ATP). Exemplificado na Figura 12.

Figura 11: Afundamento de consolidação (AC)



(a) Afundamento por consolidação em trilha de roda (ATC)

(b) Afundamento por consolidação localizada (ALC)

Fonte: BERNUCCI et al., 2008 e UFPR, 2010

Figura 12: Afundamento plástico das trilhas de roda (ATP)



Fonte: BERNUCCI et al., 2008

3.5.3. Ondulação ou Corrugação

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.

Também conhecido como corrugação, é classificado, por Daroncho (2001) como uma ondulação transversal na superfície de pavimento em locais que apresentam elevados esforços tangenciais. Esse tipo de defeito, segundo o mesmo autor é causado pela estabilidade inadequada da superfície de pavimento ou base, ou ainda pela compactação da base de forma ondulada. A Figura 13 mostra um exemplo de ondulação.

Figura 13: Ondulação (O)



Fonte: DNIT, 2003

3.5.4. Escorregamento

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

Segundo Bernucci *et al.* (2008) esse fenômeno é decorrente de fluência do revestimento asfáltico. É caracterizado pela deslocação descontínua da

massa de desgaste da pavimentação e tem como principais causas falhas executivas (construtivas e de pintura de ligação). A Figura 14 traz exemplo.

Figura 14: Escorregamento (E)



Fonte: BERNUCCI *et. al.*, 2008

3.5.5. Exsudação

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.

A exsudação está na classe dos defeitos superficiais. Ele se manifesta na mudança de cor, apresentando uma coloração mais escura ou brilhante, e as vezes da textura, tornando-se por vezes pegajosa.

Machado (2013) cita que os níveis de severidade podem ser agrupados de acordo com a situação local ou com a evolução do problema. Ele classifica como: 'nível baixo', quando há alteração na coloração de certos trechos do pavimento em relação ao geral; 'nível moderado' quando ocorre alteração de textura do pavimento; ou 'nível alto' quando o pavimento apresenta aspecto brilhante e aparecem marcas de pneu no mesmo (especialmente em dias de temperatura elevada). A Figura 15 traz exemplo de exsudação.

Figura 15: Exsudação (EX)



Fonte: BERNUCCI et al., 2008

3.5.6. Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais pelo tráfego. Inicialmente, conforme Mirandola (2016), há o desprendimento com os agregados finos, tornando os agregados médios e graúdos salientes. Já em etapas avançadas de desgaste há a ocorrência de desprendimento dos agregados médios e graúdos, podendo culminar em uma futura panela, Figura 16.

Figura 16: Desgaste (D)



Fonte: DNIT, 2003

3.5.7. Panela ou Buraco

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

Machado (2013) conclui que panelas surgem em revestimentos com pouca espessura ou baixa capacidade de suporte (falha estrutural), podendo aparecer em locais com segregação de material (falta de ligante) ou com problemas de drenagem. Suas dimensões iniciam de forma discreta, geralmente por uma evolução das trincas ou da desagregação, e podem adquirir dimensões consideráveis chegando até as camadas menos superficiais da pavimentação, Figura 17.

Figura 17: Panela (P)



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008

3.5.8. Remendo

Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buracos”.

Segundo Daroncho (2001) é uma panela o pavimento que foi removido, recolocado ou recebeu adição de materiais. Ou seja, é uma porção onde o

material de pavimentação for removido, geralmente por ação do tráfego e/ou condições climáticas, e reposto por material semelhante ao de origem, podendo ou não ser o mesmo. Ele pode ser classificado como artificial ou profundo. São usados como medidas de manutenção para eliminação das panelas.

1. Remendo profundo:

Aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular. Figura 18.

2. Remendo superficial:

Correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa. Esse tipo de atuação é considerado corretiva pelo seu baixo custo unitário (PRESTES, 2001). Figura 18.

Figura 18: Remendo (R)



(a) Remendo (má execução)



(b) Remendo (boa execução)

Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008 e UFPR, 2010

3.6. Sistema de avaliação de pavimentos

A forma de deterioração da pavimentação são muitas, porém, os métodos de avaliação se resumem em dois:

- Método de Avaliação Estrutural; e
- Método de Avaliação Funcional.

Avaliação Estrutural:

É a determinação da capacidade do pavimento de manter sua integridade estrutural, está associada diretamente à capacidade de carga e pode ser ligado com projeto e dimensionamento da via. “A avaliação estrutural de pavimentos consiste na análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento quando submetido a determinado carregamento”, (DER/SP – PRO, 2006).

Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. As deformações elásticas são avaliadas por equipamentos próprios chamados genericamente de deflectômetros por medirem os deslocamentos verticais nomeados como “deflexão” do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Ela pode ser destrutiva, semi-destrutiva e não destrutiva. Vale destacar que os materiais utilizados são diversos, como por exemplo: equipamento por impacto *Falling Weight Defectometer* FWD, simuladores de tráfego e autolocomoção, sendo esses de difícil obtenção no local de execução de projeto inviabilizando esse tipo de avaliação.

Avaliação Funcional:

A avaliação funcional de pavimentos é amplamente utilizada na identificação dos defeitos mostrados neste capítulo, onde essa avaliação pode ser feita através de três formas para obter as reais condições de superfície do pavimento, que são: Avaliação Objetiva, Avaliação Objetiva Expedida e Avaliação Subjetiva.

De acordo com o DNIT (2006), os levantamentos em campo devem ser

realizados seguindo a seguinte classificação de pistas e faixas:

a) Pista Simples

- Faixa direita da pista: a faixa de rolamento com tráfego no sentido crescente de quilometragem;
- Faixa esquerda da pista: a faixa de rolamento com tráfego no sentido decrescente de quilometragem.

b) Pista Dupla

- Pista direita: pista com tráfego no sentido crescente de quilometragem, com faixas direita e esquerda. No caso de haver mais de duas faixas, estas devem ser numeradas da esquerda para a direita;
- Pista esquerda: pista com tráfego no sentido decrescente de quilometragem, com faixa direita e esquerda. No caso de haver mais de duas faixas, estas devem ser numeradas da esquerda para a direita.

1. Avaliação objetiva

A avaliação objetiva de superfície de pavimentos é aplicada na análise das patologias dos pavimentos flexíveis e semirrígidos, é realizado com objetivo de classificar as ocorrências encontradas na superfície do pavimento e a medida das deformações permanentes nas trilhas de rodas. Durante sua análise são identificadas todas as ocorrências das patologias dos pavimentos e catalogadas para sua posterior classificação (DNIT, 2016).

Os resultados encontrados a partir desta análise são obtidos através do cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), que é calculado utilizando os dados coletados em campo. Após a identificação dos defeitos na via é calculado para cada tipo de defeito a frequência com que eles aparecem, também chamada de frequência absoluta, a frequência absoluta é multiplicada pela frequência relativa que é obtida pela relação entre o número de ocorrências e as quantidades de estações, multiplicado por 100.

O somatório dessa frequência é o IGG que irá classificar as condições do pavimento conforme a tabela abaixo:

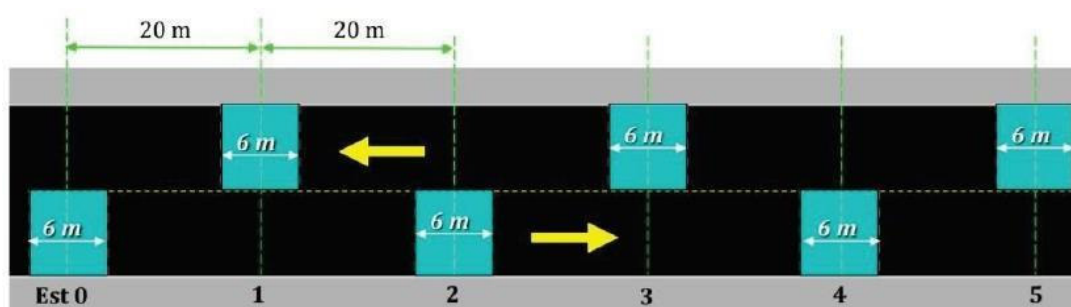
Tabela 5: Classificação das condições do pavimento

CONCEITO	LIMITES
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 \leq IGG \leq 40$
Regular	$40 \leq IGG \leq 80$
Ruim	$80 \leq IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: DNIT, 2003

As estacas são demarcadas no pavimento para a identificação das ocorrências e devem ser analisadas de forma diferentes para rodovias de pistas simples e pista dupla. Nas rodovias de pista simples (Figura 19) as estacas devem ser marcadas a cada 20m alternando a faixa de tráfego entre a direita e esquerda, ficando assim um espaçamento de 40m entre as estações da mesma faixa. A delimitação deve ser feita pelas bordas da faixa de tráfego, com 3 m à frente e 3 m atrás de cada estação, sendo colocado o número correspondente das estacas, após essa demarcação são avaliados dentro de cada marcação os defeitos, assim como também será levantada as deformações plásticas nas trilhas de rodas através das medidas da treliça.

Figura 19: Estaqueamento pista simples

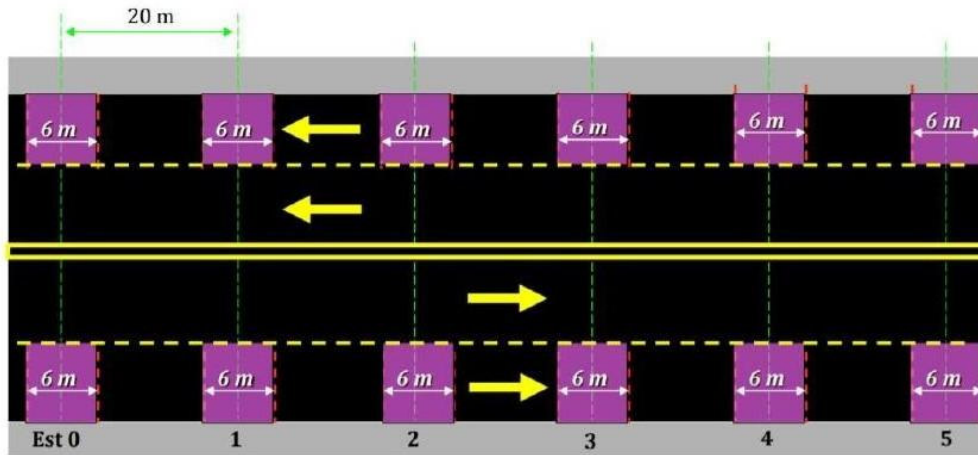


Fonte: SOUZA 2018

Nas rodovias de pista dupla (Figura 20) essa demarcação deve ser feita na faixa de maior solicitação de tráfego, com uma distância entre as estacas de 20 m nos dois sentidos da rodovia, a delimitação deve prosseguir da mesma forma para a pista simples, com 3 m à frente e 3 m atrás de cada estação (DNIT,

2003).

Figura 20: Estaqueamento pista dupla



Fonte: SOUZA, 2018

2. Avaliação Subjetiva

A determinação de conforto de rolamento através de uma avaliação subjetiva define o modelo de serventia que o pavimento proporciona em um determinado momento de sua vida, e este padrão é designado de Valor de Serventia Atual (VSA), conhecido internacionalmente como *Present Serviceability Ratio* (PSR) (SOUZA, 2018).

As avaliações subjetivas são realizadas por pessoas treinadas que, trafegam um trecho do pavimento tido como homogêneo de no máximo 2km, estas pessoas obedecem à uma série de instruções especiais. Os trechos recebem nota de 0 a 5 (Tabela 6), onde os trechos com nota 5 representam um pavimento em condições muito boas e a nota mínima representa um pavimento em condições precárias (DNIT, 2003).

Tabela 6: Conceito do Valor de Serventia Anual

CONCEITO	VSA
Péssimo	0 a 1
Ruim	1 a 2

Regular	2 a 3
Bom	3 a 4
Ótimo	4 a 5

Fonte: DNIT, 2003

A partir da Norma DNIT-PRO 008/2003 existem a normalização de outro processo para realizar o levantamento, o qual tem o objetivo de avaliar a condição de modo contínuo. Este outro processo é conhecido como Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis (ICPF). Este processo é semelhante ao VSA, onde uma pessoa treinada faz a avaliação entre 0 e 5 ao trecho, gerando elementos necessários para o cálculo do IGGE (Índice de Gravidade Global Expedito) e do IES (Índice do Estado do Pavimento). Exemplificado na Tabela abaixo.

Tabela 7: Conceitos do pavimento em função do ICPF

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Excelente	Necessário apenas a conservação rotineira	4,5-5,0
Bom	Aplicação do micro revestimento - desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas.	3,5-4,0
Regular	Correção de pontos localizados ou recapeamento - pavimento trincado, com "panelas" pouco frequentes e com irregularidade longitudinal e/ou transversal	2,5-3,0
Mau	Recapeamento com correções prévias - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas.	1,5-2,0

Péssimo	Reconstrução - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão, deterioração do revestimento e das demais camadas	0,0-1,0
---------	---	---------

Fonte: DNIT (2003)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Considerações iniciais

A pesquisa se deu em duas etapas principais: a de levantamento bibliográfico e levantamento e aplicação de método de análise. Foi feita a escolha da via de estudo e, posteriormente, escolheu-se o trecho a ser abordado. Finalmente, houve o tratamento do material coletado, ocorrendo, então, a avaliação da pavimentação.

A pesquisa iniciou-se pela eminência de problemas instaurados em toda cidade de São Luís – MA relacionados à pavimentação urbana. Dentre eles pode-se citar a insatisfação dos usuários frequentes das vias pelo baixo estado de serventia destas em diversas áreas, além de progressões de defeitos asfálticos, os quais nem sempre conseguem ser atendidos pelas manutenções feitas pelos programas governamentais de recuperação.

Há ainda, como motivação da pesquisa, a falta de controle e/ou fiscalização do estado estrutural da pavimentação e a ausência de um levantamento e banco de dados com informações sobre o estado das vias. Dados esses cuja a falta inviabiliza a elaboração de um sistema de gerência de pavimentos eficiente.

Como última motivação do trabalho, tem-se a influência da estrutura da via no trânsito diário. É clara a relação diretamente proporcional entre qualidade da via urbana, em todos os seus âmbitos (estrutural, geométrico e sinalização), e a fluidez do trânsito. Quanto mais eficiente é a trafegabilidade urbana, melhor é a qualidade de vida da população e mais eficaz é o processo diário de produção da cidade.

4.2. Determinação do trecho de pesquisa

Para o objeto de estudo foi adotado um trecho de um dos sentidos da Avenida Daniel de La Touche, uma das principais avenidas da cidade de São Luís – MA. A avenida foi escolhida para a análise por apresentar um grande fluxo de veículos gerando um Volume Médio Diário (VMD) elevado. O trecho escolhido possui, em sua extensão total 1,98 km (um quilômetro, novessentos e oitenta metros), com pavimento do tipo flexível e um intenso tráfego de veículos por toda

sua extensão.

A avenida dá acesso a bairros de classes média e popular como Bequimão, Cohama, Maranhão Novo e Cohajap, passando por vários outros bairros da cidade, além de ligar a Avenida Jeronimo de Albuquerque e Avenida dos Holandeses, as quais são duas outras grandes e importantes avenidas da capital.

Por ser uma avenida de grande movimentação e tráfego de veículos, ela sofre, em toda sua extensão com os esforços aplicados pelos veículos e a falta de manutenção por parte do poder público.

A Avenida Daniel de La Touche é classificada como corredor primário (CP), de acordo com as diretrizes da Lei Municipal nº 3.253/92 (SÃO LUÍS, 1992). Na tabela abaixo é possível observar as características da avenida:

Tabela 8: Características da Avenida Daniel de La Touche

EXTENSÃO DA VIA	LARGURA DA VIA	NÚMERO DE VIAS	NÚMERO DE FAIXAS POR VIAS
6,3 km	10,5 m	2	3

Fonte: AUTOR, 2019

As características mostradas acima são da extensão total da Avenida Daniel de La Touche, porém o trecho em estudo possui as características apresentadas na tabela abaixo:

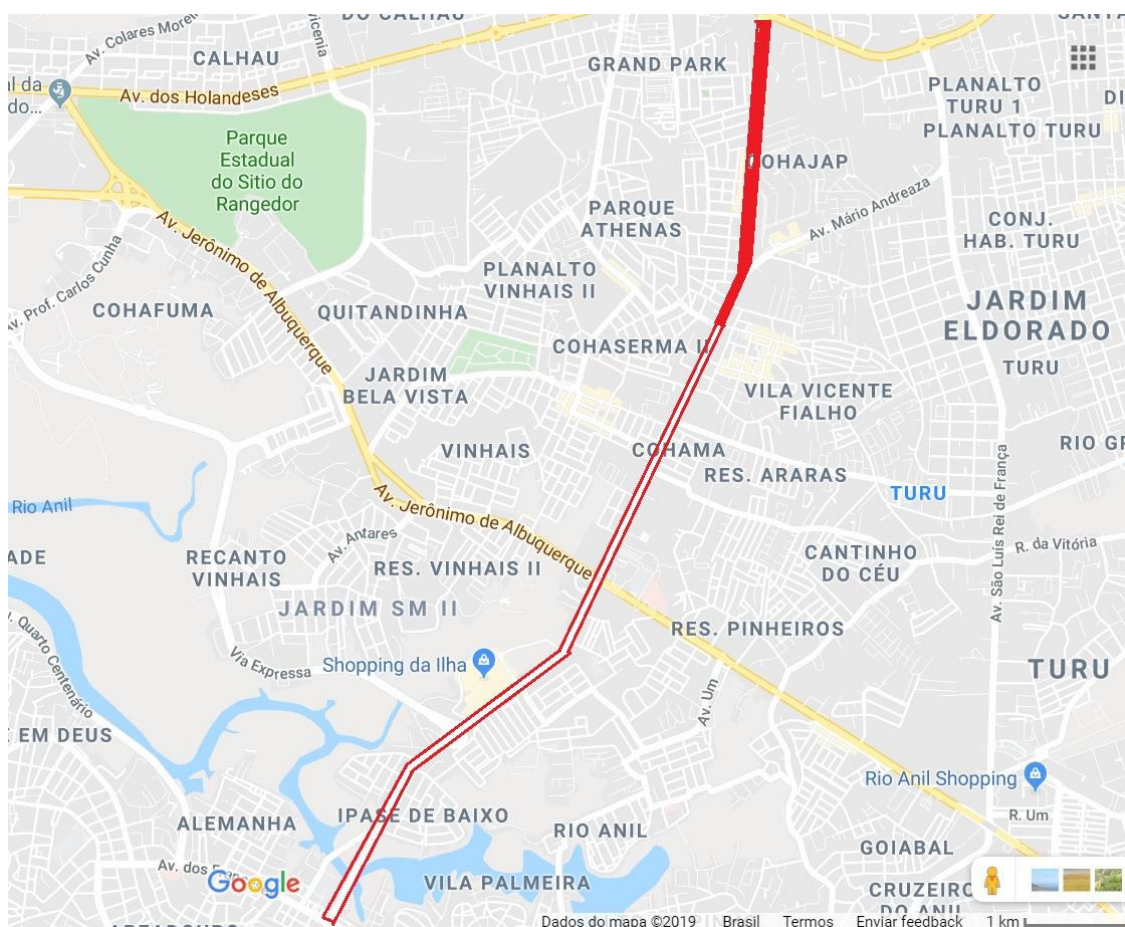
Tabela 9: Características do trecho de estudo

EXTENSÃO DA VIA	LARGURA DA VIA	NÚMERO DE VIAS	NÚMERO DE FAIXAS POR VIAS
1,98 km	10,5 m	1	3

Fonte: AUTOR, 2019

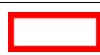

A Figura 21 exemplifica de forma mais detalhada a localização da Avenida Daniel de La Touche e delimitação de trecho de estudo.

Figura 21: Localização da Avenida Daniel de La Touche e a delimitação de trecho de estudo



Fonte: ADAPTADO – GOOGLE MAPS, 2019

LEGENDA – FIGURA 21

-  Extensão total da Avenida Daniel de La Touche
-  Trecho objeto do estudo

O trecho analisado neste trabalho se deu em apenas um único sentido da Avenida Daniel de La Touche. Iniciando com a estaca 0 (zero) na alça da rotatória do Caolho, que dá acesso à avenida em questão, no bairro Caolho, São Luís – MA ($2^{\circ}29'21.6''S$ $44^{\circ}14'22.0''W$) e terminando com a estaca 99 (noventa e nove) no bairro Cohama, São Luís – MA ($2^{\circ}30'25.0''S$ $44^{\circ}14'30.9''W$).

4.3. Avaliação funcional do pavimento

Foi escolhida para obtenção da condição do pavimento a norma DNIT (2003b) – Método de Avaliação Funcional Objetiva de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos. O método consiste na avaliação por meio da observação dos defeitos da via e atribuições dos seus respectivos pesos para a obtenção do Índice de Gravidade Global (IGG) e, a partir daí, é possível conceituar a sua serventia.

4.3.1. Levantamento dos dados

O levantamento foi realizado em um único dia. Por motivos de segurança, a medição foi realizada em um dia de domingo, pois nesse dia o fluxo de veículos nessa avenida é menor. O levantamento foi ocorreu no dia 04 de agosto de 2019 com a demarcação e análise da estaca 0 a 99.

Durante o levantamento das informações, os defeitos foram identificados, fotografados e anotados em uma planilha (APÊNDICE A), que auxiliou na obtenção dos dados quanto aos tipos de defeitos e as suas quantidades e para o auxílio da identificação dos mesmos foi utilizada a tabela de defeitos de pavimentos e suas siglas (APÊNDICE B). Foram utilizados os seguintes materiais:

- Trena de 30 m para a medição das distâncias entre cada estaca;
- Giz branco para a demarcação das estacas;
- Câmera fotográfica;
- Treliça de alumínio cedida pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

O levantamento de campo foi todo realizado no período da manhã das 7h às 10h. Iniciou-se os trabalhos demarcando as estacas com a trena de 30m e o giz branco. De forma simultânea, foram feitas as anotações dos defeitos que se direcionou às estacas demarcadas para a anotação da ocorrência de cada defeito e as medições dos afundamentos de roda. Além disso, foi feito o levantamento fotográfico de cada defeito presente na estaca analisada.

A demarcação das estacas obedeceu aos critérios abordados na norma

do DNIT (2003b). Como a avenida possui duas vias com três faixas, foi escolhida para objeto de análise a via que representa a pior situação. Após essa escolha foi decidido a faixa para o estudo (direita), no caso é a faixa que mais sofre com as cargas dos veículos.

A primeira estaca foi demarcada medindo 3 m ré e 3 m vante e feito um retângulo em cada um desses pontos para delimitar a estaca. Em seguida mediu-se mais 20 m entre a estaca 0 e um novo ponto marcado como estaca 1, assim sucessivamente até à estaca 99.

Após feito o levantamento de campo, foram catalogados os dados obtidos e utilizados para o cálculo do IGG. Para este cálculo foram utilizadas as equações 1 e 2. Após feito o cálculo e obtido os resultados, a avenida foi classificada de acordo com a sua serventia.

$$IGI = fr * fp \quad (1)$$

$$IGG = \sum IGI \quad (2)$$

onde:

fr: Frequência absoluta, que corresponde ao número de vezes em que as ocorrências ou defeitos são verificados;

fp: Frequência relativa, que é a relação entre a frequência absoluta e o número de estações inventariadas, multiplicada por 100;

IGI: Índice de Gravidade Global, que é o somatório dos índices de gravidade individuais para cada segmento definido como homogêneo;

IGG: Índice de Gravidade Global, que é o somatório dos índices de gravidade individuais para cada segmento definido como homogêneo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Levantamento de dados

Essa seção tem como motivação a demonstração do levantamento de dados no projeto. A Figura 22 informa a maneira que foi feita a demarcação das estacas.

Figura 22: Demarcação de estaca



Fonte: AUTOR, 2019

Abaixo, serão mostrados alguns defeitos encontrados no trecho de análise. A Figura 23 mostra uma tampa de rede subterrânea de água e esgoto encontrada na estaca 18. Nota-se a erosão no pavimento nas proximidades da tampa fazendo com que a mesma se encontre praticamente dentro de uma panela. Na mesma Figura anteriormente citada, verifica-se uma diferença na massa asfáltica do local que pode ter sido ocasionada por perda da mesma massa asfáltica em decorrência do trânsito ou da execução na obra de intervenção na rede hidráulica urbana.

Ainda que alguns tipos de obras ou instalações causem incômodo e desconforto aos usuários da via, sua má estruturação não caracterizam por si só um defeito na pavimentação. Isso deixa uma falha na avaliação funcional. A

exemplo, ainda, da Figura 23, pode-se classificar desgaste e talvez panela, mas não há uma classificação que represente o afundamento e deterioração lateral à tampa de rede subterrânea ou a outro tipo de obra de intervenção para infraestrutura urbana.

Figura 23: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Rede subterrânea de água e esgoto



Fonte: AUTOR, 2019

A Figura 24 apresenta um exemplo de panela. Presente em 6 das 100 estacas estudadas, as panelas são uma progressão de outros defeitos como desgaste e são uma das manifestações patológicas que mais incomodam o usuário, causando danos materiais, como danificando veículos, e no trânsito, o deixando, em geral, mais lento. Por esse motivo, o fator de ponderação atribuído a esse tipo de defeito é 1,0, o mais alto.

As panelas são evolução de degradações sofridas pelas camadas superficiais da pavimentação, o que expõe as camadas mais internas. Por não se saber como foram executadas as camadas subjacentes ao revestimento asfáltico, não pode-se afirmar se esse problema pode se agravar mais ainda.

Figura 24: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Panela



Fonte: AUTOR, 2019

Defeito como o afundamento de trilha de roda foi o menos encontrado no trecho do estudo. De todos os afundamentos, foi percebido apenas o plástico (Figura 25), aparecendo apenas uma vez. Segundo DNIT (2003) este ocorre devido a fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ligante.

Figura 25: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Afundamento Plástico na trilha de Roda



Fonte: AUTOR, 2019

A exsudação (Figura 26), recebe fator 0,5. Essa patologia se mostrou relativamente presente nesse estudo.

Figura 26: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Exsudação



Fonte: AUTOR, 2019

O desgaste (Figura 27) foi a patologia mais recorrente no trecho analisado. Houve desgaste registrado em 79 das 100 estacas. O desgaste tem fator de ponderação somente de 0,3, porém, suas frequência faz com que esse defeito seja grande influenciador do IGG final encontrado.

As causas de desgaste são diversas, segundo CNT (2017), podendo ser citados:

- Falhas de adesividade ligante-agregado;
- Presença de água aprisionada e sobreposição em vazios da camada de revestimento, gerando deslocamento de ligante;
- Deficiência no teor de ligante;
- Problemas executivos ou de projeto de misturas.

Há ainda fadiga por cisalhamento causado pelo trânsito, dentre outros fatores. O desgaste tem como principal evolução a formação de painelas.

Figura 27: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Desgaste



Fonte: AUTOR, 2019

Nas distinções de fendas são inventariados, entre isoladas e interligadas, 10 tipos de apresentações patológicas. Sua aparição é considerada comum e são causadas, conforme Paixão *et al.* (2018), normalmente, por ação térmica ou fadiga à solicitação de tráfego, relacionadas a movimentos horizontais que geram tensões cisalhantes. O autor cita ainda as ações influenciadoras na aparição desses defeitos: (i) Tráfego; (ii) Variações de temperatura; (iii) Movimentos de expansão/ retração das camadas cimentícias; (iv) Movimentos de expansão/retração do subleito.

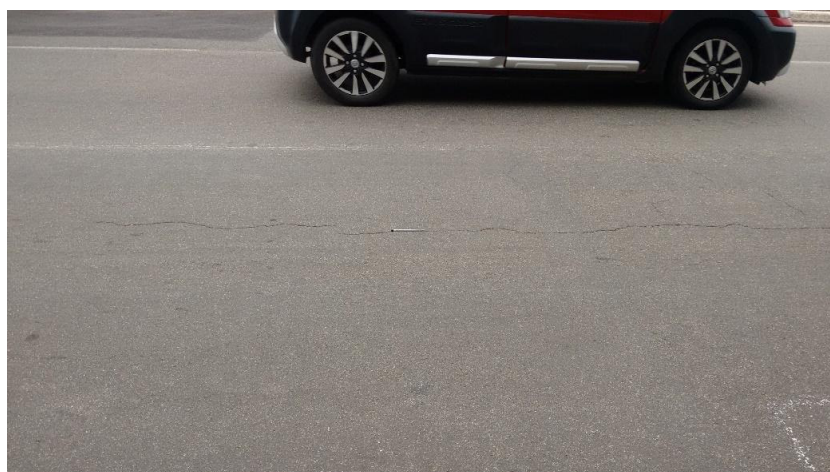
Para que haja reabilitação das vias urbanas trincadas é adotado, geralmente, o método de reforço do pavimento com materiais asfálticos. Porém, esta prática tem demonstrado que nem sempre se atingem os objetivos esperados, verificando-se na maioria das vezes, que o reforço raramente atinge a vida prevista por causa do aparecimento prematuro do trincamento por propagação das trincas existentes no pavimento antigo (DE BONDT, 1999).

Nas Figuras 28 e 29 são apresentadas tipos de fendas encontradas. As fissuras (Figura 28.a) são, dentre os defeitos, um dos que tiveram menos catalogação, um dos motivos prováveis é a difícil visualização do defeito por seu tamanho e espessura.

Figura 28: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Fenda e Trinca isolada



(a) Fissura



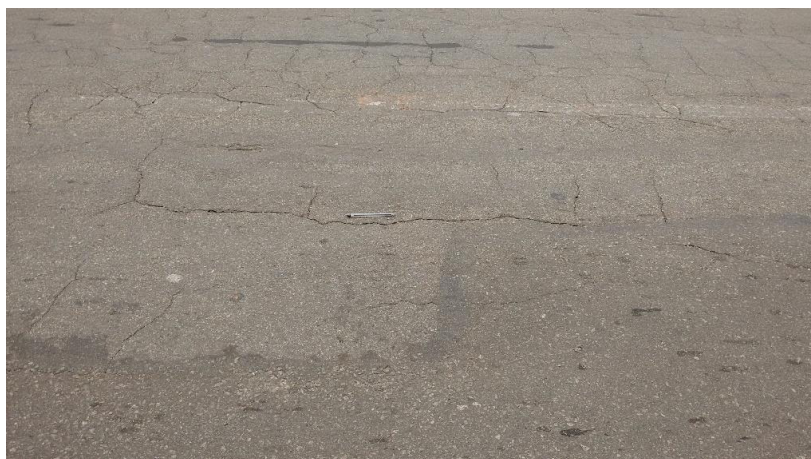
(b) Trinca longitudinalina

Fonte: AUTOR, 2019

As trincas longas (Figura 28.b), em suas duas composições, também são analisadas como fendas que se comportam de forma isolada e seu fator de ponderação é de 0,2, ou seja, são as de menor influência na trafegabilidade e segurança da via.

As trincas interligadas formam-se a partir da iniciação de ligações entre aquelas isoladas, processo esse observado em algumas partes da Figura 29.a. Esse tipo de trinca pode ser com ou sem erosão, recebendo ponderação de 0,5 ou 0,8 respectivamente.

Figura 29: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Trincas interligadas



(a) Formação de trinca interligada



(b) Trinca tipo couro de jacaré

Sobre a patologia citada acima, foram registrados somente do tipo “couro de jacaré”, esse fato porém não diminui ou eleva a gravidade das aparições.

No caso dos remendo (Figura 30) há dois tipos, como já foi citados neste trabalho, os de boa e má execução. Porém ambos são classificados como um mesmo defeito com valor de ponderação 0,6, o que pode ser considerado como uma insuficiência da norma, assim como os casos de obras de rede de esgoto já mencionados.

Figura 30: Patologias na Avenida Daniel de La Touche – Remendo



Fonte: AUTOR, 2019

5.2. Análise geral

Os defeitos encontrados no decorrer do trecho analisado serviram como base para uma melhor análise do mesmo, de forma que foi possível observar com clareza todos os defeitos existentes em cada trecho da via e compilá-los nas planilhas conforme segue no APÊNDICE A, essas planilhas serviram para o levantamento das ocorrências absolutas e relativas de cada defeito. A tabela a seguir mostra os resultados das ocorrências relativas dos defeitos.

Tabela 10: Frequência absoluta e relativa dos defeitos na Avenida Daniel de La Touche

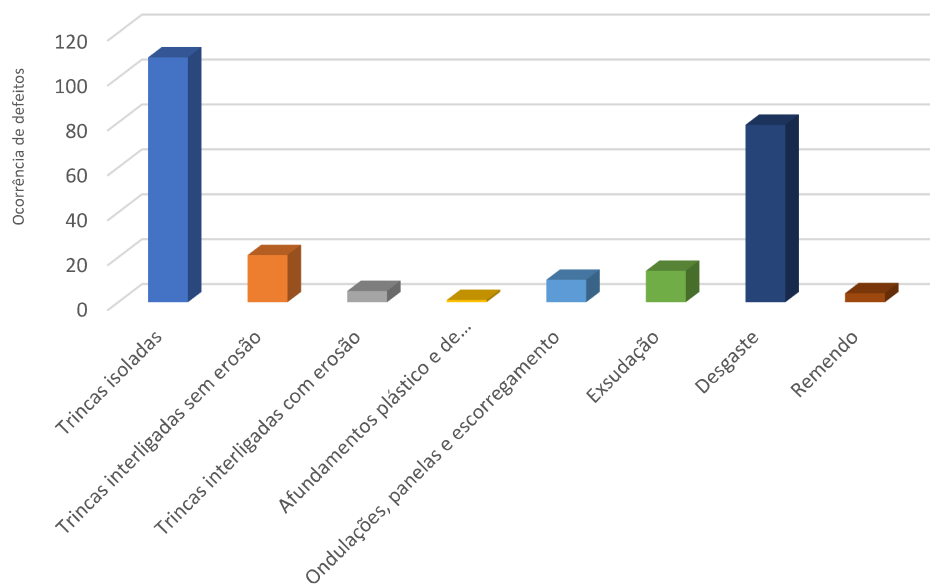
DEFETOS	FREQ. ABSOLUTA	FREQ. RELATIVA
Trincas isoladas	109	44,86
Trincas interligadas sem erosão	21	8,64
Trincas interligadas com erosão	5	2,06
Afundamentos plástico e de consolidação	1	0,41
Ondulações, panelas e escorregamento	10	4,12
Exsudação	14	5,76
Desgaste	79	32,51
Remendo	4	1,65

Fonte: AUTOR, 2019

Como pode ser observado na tabela acima, os defeitos de maior ocorrência nas estações são as trincas isoladas e o desgaste com, respectivamente, 44,86% e 32,51% das frequências relativas. Os defeitos com menor ocorrência na via foram as trincas interligadas com erosão e afundamentos plásticos e de consolidação, presentes em 2,06% e 0,41% respectivamente.

O Gráfico 4 mostra de forma clara o quantitativo dos defeitos encontrados nas 100 estacas analisadas.

Gráfico 4: Ocorrência de defeitos na Avenida Daniel de La Touche



Fonte: AUTOR, 2019

5.2.1. Divisão em subtrechos homogêneos

Para uma melhor definição da condição do pavimento, o trecho avaliado foi dividido de acordo com o critério dos subtrechos homogêneos (SH). A quantidade e extensão dos subtrechos foram definidos de acordo com a predominância de defeitos e características de relevo que é bem semelhante em toda a extensão da via, tendo assim uma configuração quanto a extensão bem parecida para todos os segmentos.

A avenida foi dividida em quatro segmentos, cada um com a determinada extensão e quantidade de estacas, conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 11: Subtrechos

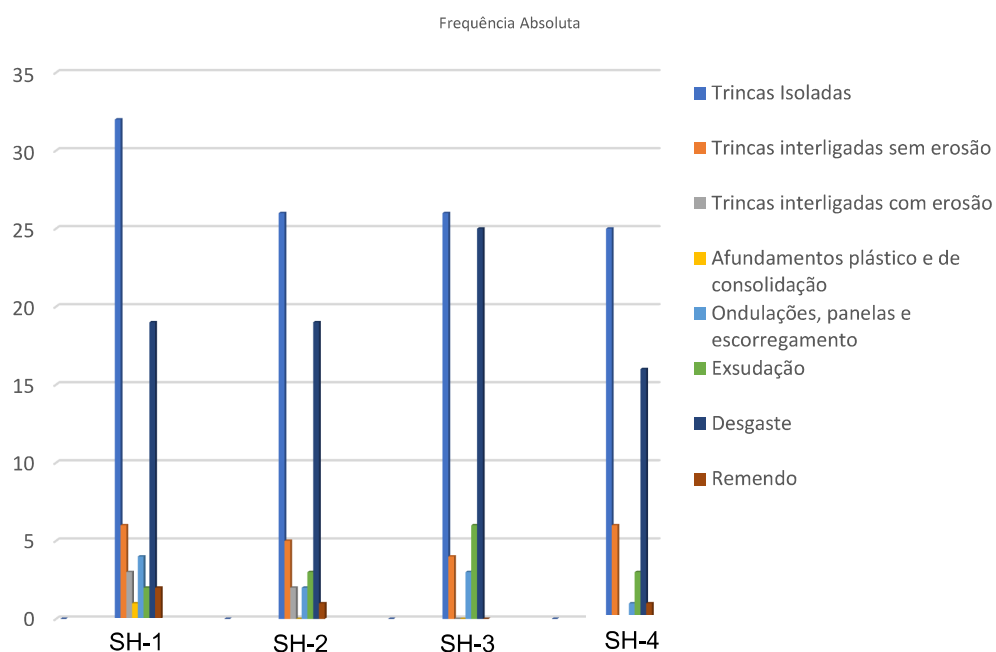
SENTIDO	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	SUBTRECHO	EXTENSÃO (m)
1	0	24	1	480
	25	49	2	480
	50	74	3	480
	75	99	4	480

Fonte: AUTOR, 2019

O segmento SH-1 mostrou a maior quantidade de ocorrência de trincas isoladas. Já os subtrechos SH-2 e SH-3 apresentam a mesma quantidade desse defeito.

O Gráfico 5 traz detalhe de todas as frequências de cada defeito em seus respectivos subtrechos.

Gráfico 5: Defeitos por subtrecho



Fonte: AUTOR, 2019

5.2.2. Índice de Gravidade Global

A partir dos dados referentes às ocorrências em cada segmento foi possível calcular o IGG e conceituar cada trecho. A tabela abaixo mostra o IGG referente a cada trecho. A partir desta tabela é possível notar que 2 dos 4 subtrechos obtiveram um conceito regular, enquanto os outros dois restantes tiveram conceito ruim. Sendo assim, os resultados obtidos apontam que a avenida em questão precisa passar por uma intervenção para melhoria da camada asfáltica.

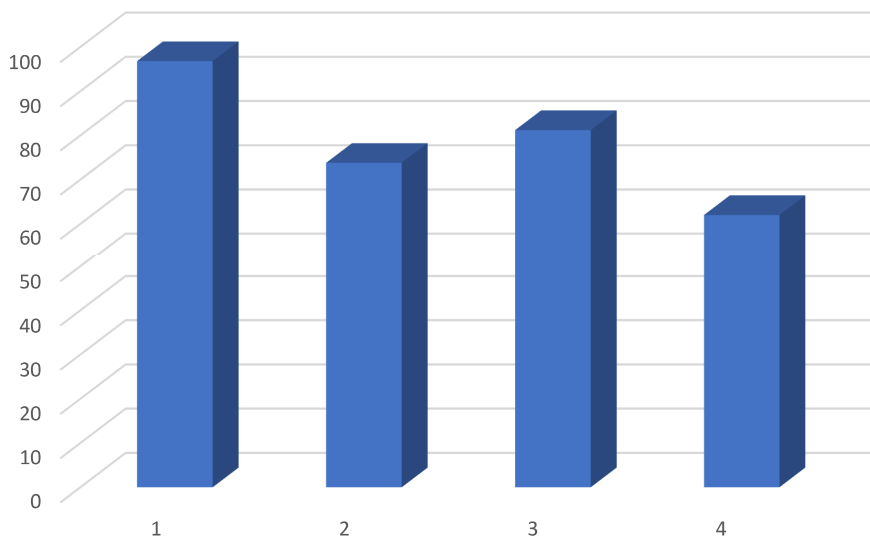
Tabela 12: Conceito dos segmentos e seus valores de IGG

SENTIDO	SUBTRECHO	IGG	CONCEITO
1	1	96,8	RUIM
	2	73,8	REGULAR
	3	81,2	RUIM
	4	62	REGULAR

Fonte: AUTOR, 2019

O gráfico abaixo mostra o índice de gravidade global de cada subtrecho.

Gráfico 6: índice de Gravidade Global de cada subtrecho



Fonte: AUTOR, 2019

A partir dos resultados de cada segmento é possível ter uma melhor análise do real estado da avenida. Pode-se notar que há uma predominância de trincas isoladas e desgaste, o que serve para comprovar que o principal problema do revestimento é o processo de ruptura por fadiga. Além disso, é evidenciado a exsudação em trechos justamente em decorrência da falta da quantidade adequada de ligante betuminoso.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados explicitados neste trabalho foi possível verificar a importância da definição do método de avaliação funcional de pavimento flexível, além dos conhecimentos técnicos dos defeitos existentes para a melhor identificação e catalogação correta de cada defeito.

Foi dada uma perspectiva sobre a condição da pavimentação na avenida Daniel de La Touche a partir de um significativo trecho amostral. Partindo desses conhecimentos e coleta correta dos dados é possível traçar uma metodologia eficiente para a identificação dos trechos mais deteriorados e assim encontrar formas mais adequadas para a recuperação e manutenção da via.

Para além dos objetivos definidos inicialmente, esse trabalho evidencia a importância de um sistema de gestão de pavimentos eficaz na conjectura viária urbana, visando a economia de recursos, o conforto do usuário e a segurança do mesmo, minimizando acidentes decorrentes da falha estrutural da via.

Este trabalho demonstra a pertinência da questão referente a análise objetiva funcional da pavimentação para a gestão inteligente urbana.

Conclui-se portanto que os resultados dos trechos avaliados não tiveram classificações razoáveis e por isso não são aceitáveis para uma via de tanta importância na cidade. Estes resultados realçam a necessidade da intervenção e adoção de técnicas de recuperação da avenida objeto desse estudo.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J. F. M. **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO A LONGO PRAXO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: EXPLORAÇÃO DA BASE DE DADOS LTPP AMERICANA.** Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Departamento de Engenharia Civil. Coimbra – Portugal, 2013.

BALBO, J. T. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: MATERIAIS, PROJETO E RESTAURAÇÃO.** Oficina de Textos, 2015.

BASTOS, Gerson Alves. **COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS REFORÇADAS COM GRELHAS PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.** 2010. Tese (Doutorado). PUC – Rio.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.** Rio de Janeiro, 2008.

BERTOLLO, S. M; FERNANDES, J; SCHALCH, V. *et al.* **BENEFÍCIOS DA INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.** In CVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancún, México. 2002.

CNT. **TRANSPORTE RODOVIÁRIO: DESEMPENHO DO SETOR, INFRAESTRUTURA E INVESTIMENTOS.** Confederação Nacional de Transporte, 2017.

CNT. **TRANSPORTE RODOVIÁRIO: POR QUE OS PAVIMENTOS DAS RODOVIAS DO BRASIL NÃO DURAM?** Confederação Nacional de Transporte, Brasília, 2017.

DARONCHO Célio. **CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE QUALIDADE DE VIAGEM E SUAS RELAÇÕES COM A DISTRIBUIÇÃO DE DEFEITOS EM SEGMENTOS DE RODOVIAS.** 2001. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

DE BONT, A. H. **ANTI-REFLECTIVE CRACKING DESIGN OF (REINFORCED) ASPHALTIC OVERLAYS.** 1999.

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. **PAVIMENTAÇÃO: LAMA ASFÁLTICA.** Curitiba- Paraná, 2015.

DES.SP-PRO. **PROJETO DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTO.** Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP). 2006.

DNIT 031/06-ES. **PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – CONCRETO ASFÁLTICO.** Rio de Janeiro, 2006.

DNIT. **MANUAL DE GERÂNCIA DE PAVIMENTOS.** Departamento de Infra-Estrutura de Transporte, 2016.

DNIT. **MANUAL DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte, 2011.

DNIT. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**. 3, ed., Rio de Janeiro, 2006.

FRANCISCO, A. P. S. **COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS**. Escola Superior de Tecnologia e de Gestão – Instituto Politécnico de Bragança – Pará. 2012.

FREITAS, E. F; PEREIRA, P. A. A. **ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS**. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. Guimarães – Portugal, 2001.

GONÇALVES, F. **O DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 1999.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **CRESCIMENTO DE CIDADES BRASILEIRAS**. 2018.

INIR-IP. **DIRETIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS – CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO**. Instituto de Infra-Estrutura Rodoviária I.P., Lisboa, 2005.

LIMA, Josiane Palma. **MODELO DE DECISÃO PARA A PRIORIZAÇÃO DE VIAS CANDIDATAS ÀS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS**. 2007. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

MACHADO, Denise Maria Camargo. **AVALIAÇÃO DE NORMAS DE IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS PARA FINS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO FLEXÍVEL**. 2013. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

MERIGHI, J. V; FORTES, R. M. Manual de Projeto de Estradas. **CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS**. 2015.

MIRANDOLA, M. A. **GESTÃO DE MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EM VIAS URBANAS**. Congnitio/ Pós-Graduação UNILINS. 2016.

NOGUEIRA, Cyro. **NOÇÕES DE MECÂNICAS DOS SOLOS – PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – PAVIMENTOS RÍGIDOS**. Rio de Janeiro, 1961.

PAIXÃO, M. P; CORDEIRO, C. C. C; CORREIA, M. D. C. N. **PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS: PREVENÇÃO E TRATAMENTO DA REFLEXÃO DE TRINCAS**. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. 2018.

PRESTES, M. P. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: UM ESTUDO COMPARATIVO. 2001.

QUIRINO, M. E. P. RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM ÁREAS DE TAXIAMENTO DE AERONAVES. Monografia, Escola de Engenharia da UFMA, 2013.

ROHDE, L. ESTUDO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DE MÓDULO ELEVADO PARA CAMADAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS. 2007.

ROSO, J. A. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO NOS ASPECTOS RESISTENCIA MARSHALL E À FADIGA DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS USINADAS A FRIO. Faculdade de Tecnologia de São Paulo – SP, 2007.

ROSSI, A. C. ETAPAS DE UMA OBRA DE PAVIMENTAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO PARA UMA VIA NA ILHA DO FUNDÃO. 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. MANUAL DE TÉCNICAS DE PAVIMENTAÇÃO. São Paulo, ed. PINI, 2007.

SILVA, P. F. A. MANUAL DE PATOLOGIA E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS. PINI. 2008.

SOUZA, M. J. PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo. 2018

APÊNDICES

A: PLANILHAS DE OCORRÊNCIA DE DEFEITOS

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																						
Rodovia: Avenida Daniel de La Touche														Operador: Willian de Jesus Melonio Penha				FOLHA 1				
Trecho: Sentido 1														Revestimento: CBUQ								
Data: 04/08/2019																						
ESTACA	SEÇÃO	OK	TRINCAS							AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS					TRINCAS RODAS		OBS	
			ISOLADAS			INTERLIGADAS				PLASTICO		CONSOLIDADO		O 5	P 5	E 5	EX 5	D 5	R 5	TRI mm		TER mm
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4									
				J 2	TB 2	JE 3	TBE 3															
0					x																	
1						x															x	
2				x					x												x	
3							x														x	
4						x				x												
5						x															x	
6					x				x				x								x	
7			x				x								x						x	
8				x			x				x											
9				x			x														x	
10				x			x		x												x	
11				x			x									x						
12							x														x	
13				x			x								x				x		x	
14					x				x												x	
15							x															
16				x					x												x	
17							x														x	
18							x									x					x	
19				x																	x	
20							x														x	
21							x														x	
22					x				x												x	
23					x				x												x	
24							x														x	

FONTE: AUTOR, 2019

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																														
Rodovia: Avenida Daniel de La Touche												Operador: Willian de Jesus Melonio Penha				FOLHA 2														
Trecho: Sentido 1												Revestimento: CBUQ																		
Data: 04/08/2019																														
ESTACA	SEÇÃO	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS RODAS		OBS							
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONSOLIDADO		O 5	P 5	E 5	EX 5	D 5	R 5	TRI mm	TER mm								
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4					
J 2	TB 2	JE 3	TBE 3																											
25				x						x																				
26					x																			x						
27				x						x																				
28				x				x																	x					
29						x																			x					
30				x	x																				x					
31					x																									
32								x																		x				
33				x																						x				
34						x															x					x				
35					x																					x				
36				x						x																x				
37					x																					x				
38				x								x														x				
39										x																x				
40								x																		x				
41					x																					x				
42				x						x																	x			
43				x																							x			
44						x																					x			
45					x																						x			
46				x																								x		
47						x																						x		
48				x																									x	
49				x																									x	

FONTE: AUTOR, 2019

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																											
Rodovia: Avenida Daniel de La Touche										Operador: Willian de Jesus Melonio Penha					FOLHA 3												
Trecho: Sentido 1										Revestimento: CBUQ																	
Data: 04/08/2019																											
ESTACA	SEÇÃO	OK	TRINCAS							AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS					TRINCAS RODAS		OBS						
			ISOLADAS				INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONSOLIDADO		O 5	P 5	E 5	EX 5	D 5	R 5	TRI mm		TER mm					
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4										ATP 4	ALC 4	ATC 4		
J 2	TB 2	JE 3	TBE 3																								
50			x																								
51				x																							
52					x																						
53						x					x																
54							x																				
55				x																							
56						x																					
57				x				x																			
58			x					x																			
59				x																							
60						x																					
61							x																				
62				x																							
63						x					x																
64								x																			
65				x																							
66						x																					
67				x																							
68					x																						
69						x																					
70								x																			
71				x																							
72											x																
73						x																					
74			x																								

FONTE: AUTOR, 2019

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																						
Rodovia: Avenida Daniel de La Touche											Operador: Willian de Jesus Melonio Penha						FOLHA 4					
Trecho: Sentido 1											Revestimento: CBUQ											
Data: 04/08/2019																						
ESTACA	SEÇÃO	OK	TRINCAS							AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS					TRINCAS RODAS		OBS	
			ISOLADAS				INTERLIGADAS			PLASTICO		CONSOLIDADO		O 5	P 5	E 5	EX 5	D 5	R 5	TRI mm		TER mm
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4									
							J 2	TB 2	JE 3	TBE 3												
75				x																		x
76			x																			
77					x																	x
78										x												
79				x																		x
80					x																	
81						x																
82				x																		
83					x																	x
84										x												x
85						x																x
86				x																		x
87						x				x												
88				x						x												x
89					x																	x
90						x				x												x
91			x																			x
92				x		x																x
93					x																	x
94				x																		
95					x																	x
96						x				x												
97					x																	x
98				x																		x
99					x																	x

FONTE: AUTOR, 2019

B: PLANILHAS DE IGG PARA OS SUBTRECHOS

RODOVIA:	PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE					Data:	Folha:1
	TRECHO: Avenida Daniel de La Touche					Estaca ou quilômetro	Estaca ou quilômetro
	SUBTRECHO: 1			REVESTIMENTO TIPO: CBUQ		0	24
Item	Natureza do defeito	freqüência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	25		100%	0,2	20	
2	(FC - 2) J, TB	6		24%	0,5	12	
3	(FC - 3) JE, TBE	3		12%	0,8	9,6	
4	ALP, ATP	1		4%	0,9	3,6	
5	O e P	5		20%	1	20	
6	EX	2		8%	0,5	4	
7	D	19		76%	0,3	22,8	
8	R	2		8%	0,6	4,8	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= 3	TRI= 3,4	F= ----	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV= ---	TRIV= ---	FV= ----	2 A () 2 B ()	96,8	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =25	Somatória IND. GRAVID. IND = EGG			RUIM	Conceito
						Operador	Willian de Jesus Melonio Penha
						Cálculo	Willian de Jesus Melonio Penha
						Visto	Willian de Jesus Melonio Penha

FONTE: AUTOR, 2019

RODOVIA:	PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE					Data: 04/09/201	Folha:2
	TRECHO: Avenida Daniel de La Touche					Estaca ou quilômetro	Estaca ou quilômetro
	SUBTRECHO: 1			REVESTIMENTO TIPO: CBUQ		25	49
Item	Natureza do defeito	freqüência absoluta	Freqüência absoluta considerada	Freqüência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	24		96%	0,2	19,2	
2	(FC - 3) J, TB	5		20%	0,5	10	
3	(FC - 3) JE, TBE	2		8%	0,8	6,4	
4	ALP, ATP	0		0%	0,9	0	
5	O e P	2		8%	1	8	
6	EX	3		12%	0,5	5	
7	D	19		76%	0,3	22,8	
8	R	1		4%	0,6	2,4	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= ----	TRI= ----	F= ----	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV= ---	TRIV= ---	FV= ----	2 A () 2 B ()	73,8	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =25	Somatória IND. GRAVID. IND = EGG			REGULAR	Conceito
						Operador	Willian de Jesus Melonio Penha
						Cálculo	Willian de Jesus Melonio Penha
						Visto	Willian de Jesus Melonio Penha

FONTE: AUTOR, 2019

RODOVIA:	PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE					Data: 04/09/201	Folha:3
	TRECHO: Avenida Daniel de La Touche					Estaca ou quilômetro	Estaca ou quilômetro
	SUBTRECHO: 1			REVESTIMENTO TIPO: CBUQ		50	74
Item	Natureza do defeito	freqüência absoluta	Freqüência absoluta considerada	Freqüência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	24		96%	0,2	19,2	
2	(FC - 2) J, TB	4		16%	0,5	8	
3	(FC - 3) JE, TBE	0		0%	0,8	0	
4	ALP, ATP	0		0%	0,9	0	
5	O e P	3		12%	1	12	
6	EX	6		24%	0,5	12	
7	D	25		100%	0,3	30	
8	R	0		0%	0,6	0	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= ----	TRI= ----	F= ----	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV= ---	TRIV= ---	FV= ----	2 A () 2 B ()	81,2	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =25	Somatória IND. GRAVID. IND = EGG			RUIM	Conceito
						Operador	Willian de Jesus Melonio Penha
						Cálculo	Willian de Jesus Melonio Penha
						Visto	Willian de Jesus Melonio Penha

FONTE: AUTOR, 2019

RODOVIA:	PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE					Data:	Folha:4
	TRECHO: Avenida Daniel de La Touche					Estaca ou quilômetro	Estaca ou quilômetro
	SUBTRECHO: 1			REVESTIMENTO TIPO: CBUQ		75	99
Item	Natureza do defeito	frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	23		92%	0,2	18,4	
2	(FC - 2) J, TB	6		24%	0,5	12	
3	(FC - 3) JE, TBE	0		0%	0,8	0	
4	ALP, ATP	0		0%	0,9	0	
5	O e P	1		4%	1	4	
6	EX	3		12%	0,5	6	
7	D	16		64%	0,3	19,2	
8	R	1		4%	0,6	2,4	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= ----	TRI= ----	F= ----	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV= ---	TRIV= ---	FV= ----	2 A () 2 B ()	62	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =25	Somatória IND. GRAVID. IND = EGG			REGULAR	Conceito
						Operador	Willian de Jesus Melonio Penha
						Cálculo	Willian de Jesus Melonio Penha
						Visto	Willian de Jesus Melonio Penha

FONTE: AUTOR, 2019