

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS MG

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL DE SOUZA ALMEIDA

AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL:

caso da BR-265 - Km 425 à Km 413 – Boa Esperança / Santana da Vargem - MG

Varginha - MG

2020

GABRIEL DE SOUZA ALMEIDA

**AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL:
caso da BR-265 - Km 425 à Km 413 – Boa Esperança / Santana da Vargem - MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação da Prof. Ms. Tiely Zurlo Mognhol.

Varginha – MG

2020

GABRIEL DE SOUZA ALMEIDA

**AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL:
caso da BR-265 - Km 425 à Km 413 – Boa Esperança / Santana da Vargem - MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovada em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus familiares que sempre me apoiaram e ajudaram a alcançar esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela sua infinita misericórdia e bondade, pela sua palavra que tem se cumprido em minha vida, me dando forças ao longo desta jornada, a minha família é irmandade por todo apoio é pelas orações em meu favor , em especial aos meus pais Enizio Vitor Almeida e Eleny Aparecida de Souza Almeida, por todo o auxílio, me provendo em tudo que era necessário para que eu pudesse alcançar meus objetivos, e principalmente pelas orações nas madrugadas que essas são a minha maior força, a minha noiva Laila , pelo carinho e compreensão nos momentos difíceis, suportando por muitas vezes a dor da saudade por não podemos estar juntos, aos meus amigos e colegas que tive o prazer de conhecer ao longo dessa jornada, em especial a Eduardo, Geovane e Humberto, pelas inúmeras noites em claro, lutando para chegamos até esse momento, a professora Tiely pelas orientações e auxílio, a todos os professores que contribuíram compartilhando seus conhecimentos.

“Tem misericórdia de mim, ó Deus, tem misericórdia de mim, porque a minha alma confia em ti; e à sombra das tuas asas me abrigo, até que passem as calamidades.”

Salmos 57-1

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a situação funcional do pavimento flexível da BR - 265, bem como propor soluções para os problemas identificados. O estudo proposto se localiza no trecho entre Boa Esperança/MG e Santana da Vargem/MG, com levantamento in loco dos tipos de patologias, das inadequações de conservação e dos defeitos presentes no pavimento asfáltico após solicitações de tráfego. De maneira complementar, este estudo contempla a análise das características do revestimento asfáltico aplicado no trecho proposto, por meio de ensaios de extração de betume, e análise das demais camadas do pavimento, por meio do ensaio de granulometria. Com os resultados, foram avaliadas e propostas as soluções técnicas e economicamente viáveis para melhoria do trecho.

Palavras-chave: Patologias. Pavimento Flexível. Avaliação Funcional.

ABSTRACT

This work has as objective to evaluate the functional situation of the flexible pavement of BR-265, as well as to propose solutions to problems identified. The proposed study begins in the stretch between Boa Esperança/ MG and Santana da Vargem/ MG, with a survey in loco of the types of pathologies, conservation inadequacies and defects in the asphalt pavement after traffic requests. In a complementary way, this study includes an analysis of the characteristics of the asphalt coating applied in the proposed stretch, using bitumen extraction tests, and analysis of the other pavement layers, using granulometry. With the results, will be evaluated and proposed as technical and economically viable solutions to improve the stretch.

Keywords: *Functional Evaluation. Pathologies. Flexible Pavement*

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Subtrecho de 0 Km a 1 Km	72
Apêndice B – Subtrecho de 1 Km a 2 Km	73
Apêndice C – Subtrecho de 2 Km a 3 Km	74
Apêndice D – Subtrecho de 3 Km a 4 Km	75
Apêndice E – Subtrecho de 4 Km a 5 Km	76
Apêndice F – Subtrecho de 5 Km a 6 Km	77
Apêndice G – Subtrecho de 6 Km a 7 Km	78
Apêndice H – Subtrecho de 7 Km a 8 Km	79
Apêndice I – Subtrecho de 8 Km a 9 Km	80
Apêndice J – Subtrecho de 9 Km a 10 Km	81
Apêndice K – Subtrecho de 10 Km a 11 Km	82
Apêndice L – Subtrecho de 11 Km a 12 Km	83
Apêndice M – Subtrecho de 12 Km a 13 Km	84

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Frequência relativa 01	40
Equação 2 – Índice de Gravidade Individual (IGI)	40
Equação 3 – Média e variância das flechas medidas	41
Equação 4 – Índice de Gravidade Global	41
Equação 5 – Espessura Total	63
Equação 6 – Espessura da Base	63
Equação 7 – Espessura Sub-base	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimento de concreto e pavimento asfáltico	19
Figura 2– Sistemas de camadas de um pavimento asfáltico (flexível)	21
Figura 3 – Afundamento trilha de roda	25
Figura 4 – Corrugação do pavimento	25
Figura 5 – Exsudação	27
Figura 6– Desgaste	28
Figura 7 – Panela com grau de severidade alto	29
Figura 8 – Escorregamento do revestimento	29
Figura 9 – Trincas Transversais	30
Figura 10 – Trinca longitudinal longa (a) e conjunto de trincas longitudinais (b)	31
Figura 11 – Trinca de retração	32
Figura 12 - Trincas em Bloco sem erosão (a) e com erosão (b)	33
Figura 13 – Desnível entre pista e acostamento	33
Figura 14 – Remendo bem executado	34
Figura 15 – Treliça para medição das flechas da trilha de roda	38
Figura 16 - Fatores de Equivalência de Operação	43
Figura 17 – Ficha de contagem volumétrica I	45
Figura 18 – Ficha de contagem volumétrica II	46
Figura 19 - Imagem aérea Rodovia MG-265 - Km 425 à Km 413,2	48
Figura 20- Início do trecho em análise	49
Figura 21 - Final do trecho em análise	49
Figura 22 – Classificação da via	56
Figura 23 - Espessura do Pavimento	57
Figura 24 – Ábaco para determinação de Espessuras do Pavimento Flexível	58
Figura 25 – Camadas para Dimensionamento do Pavimento	58
Figura 26 – Ábaco para determinação de Espessuras do Pavimento Flexível	64
Figura 27 – Seção Tipo do Pavimento Dimensionado em centímetros	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Codificação e classificação dos defeitos do pavimento flexível	39
Quadro 2 – Cálculo do IGG	55
Quadro 3 - Contagem volumétrica de veículos (Segunda-feira)	53
Quadro 4 - Contagem volumétrica de veículos (Terça-feira)	54
Quadro 5 – Contagem volumétrica de veículos (Quarta-feira)	54
Quadro 6 – Contagem volumétrica de veículos (Quinta-feira)	54
Quadro 7 – Contagem volumétrica de veículos (Sexta-feira)	55
Quadro 8 – Extrapolação do Volume Hora para um dia (24 horas)	55
Quadro 9 - Espessuras mínimas de revestimento	56
Quadro 10 – Resultado ensaio do material do subleito	62
Quadro 11 – Planilha de Custo de Remoção e Aplicação do Revestimento	66
Quadro 12 – Planilha de Custos para Reconstrução da estrutura do Pavimento	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do modal rodoviário	18
Tabela 2 – Composição do CAP	23
Tabela 3 – Valores limites para CAP (Concreto asfáltico)	23
Tabela 4 – Valor do Fator de Ponderação	40
Tabela 5 – Conceitos de degradação em função do IGG	42
Tabela 6 – Levantamento dos defeitos no trecho (Parte I)	50
Tabela 6 – Levantamento dos defeitos no trecho (Parte II)	51
Tabela 7 – Coeficiente de equivalência estrutural	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVO	17
3.1	Objetivos Específicos	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	Pavimento	19
4.2	Pavimento flexível	20
4.3	Mistura asfáltica	21
4.4	Tipos de patologia no pavimento flexível	24
4.4.1	Deformações de superfícies (corrugações, afundamento)	24
4.4.2	Defeitos de superfície (exsudação de asfalto e desgaste)	26
4.4.3	Panelas	28
4.4.4	Escorregamento do revestimento betuminoso	29
4.4.5	Trincas e fissuras (fendas)	30
4.4.6	Desnível	33
4.4.7	Remendos	34
4.5	Métodos de ensaios e especificação	34
4.5.1	Granulometria	35
4.5.2	Ensaio CBR	36
4.5.3	Ensaio Marshall	37
4.6	Índice de Gravidade Global (IGG)	37
4.7	Levantamento do tráfego	42
4.8	Classificação das contagens	43
4.9	Contagem manual	44
5	METODOLOGIA	46
6	ESTUDO DE CASO	48
7	DIAGNÓSTICO	50
8	RESULTADOS	53
8.1	Contagem volumétrica de veículos	53
8.2	Determinação do número “N”	55
8.3	Dimensionamento das Camadas do Pavimento	57
8.4	Dimensionamento do Pavimento Flexível	61
8.5	Camadas do Pavimento	61
8.5.1	Espessuras das Camadas do Pavimento	63
8.6	Estudo de viabilidade técnica econômica	65
9	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICES	72

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a pavimentação rodoviária possui um grande destaque nos transportes, tanto no Brasil como no mundo, mais em nosso território as rodovias tem sua predominância sobre os demais meios de deslocamento, mesmo não sendo o meio mais viável economicamente, e por possuir essa predominância tem sido amplamente estudada, planejada e desenvolvida com o objetivo de garantir e melhorar a trafegabilidade de cargas e passageiros, proporcionando conforto, segurança, e desenvolvimento econômico. Como o solo natural não é suficientemente resistente para suportar a repetição de cargas de roda e garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas se faz necessária a construção de um pavimento.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2018), as rodovias são responsáveis por mais de 60% da movimentação de mercadorias e mais de 90% dos passageiros, e mesmo tendo tamanha importância apenas 12,4% da malha rodoviária é pavimentada, onde em contra mão a frota tem aumentado 63,6% no período de 2009 a 2017, chegando a um total aproximado de 100 milhões de veículos que trafegam por todo o Brasil. A confederação afirma ainda que dentre todas as rodovias federais pavimentadas e os principais trechos estaduais também pavimentados, 61,8% das vias apresentam algum tipo de patologia sendo classificadas como regular, ruim ou péssima.

Considerando esses fatores podemos averiguar a baixa qualidade das rodovias no Brasil e a falta de investimentos no setor, que por sua vez é responsável pelo aumento de acidentes que levam a danos materiais e até fatalidades. Esta precariedade da qualidade da via influencia negativamente a uma enorme parte da população, sendo prejudicado tanto o proprietário de veículos e transportadoras quanto o consumidor final que sofre com o atraso da entrega ou até mesmo a elevação no preço de serviços e produtos afim de compensar os estragos causados pelas péssimas condições das rodovias.

As rodovias por sua vez também sofrem com inúmeros fatores como o excesso de carga, falha de execução, intempéries, falta de manutenção, entre outros fatores que provocam o surgimento de patologias, que por sua vez causam os já citados danos aos usuários da via.

Tendo em vista estes malefícios no meio de transporte com importância tão elevada, faz se necessário a constante avaliação do pavimento, tendo por objetivo avaliar o nível de serventia, quais as prioridades e decisões a serem tomadas, ou quanto as patologias apresentadas causam risco a segurança dos usuários, também como, avaliar a forma como esses defeitos deverão ser solucionados, e por sua vez o valor dessa manutenção.

Sendo esses fatos apresentados, este trabalho analisará criteriosamente um determinado trecho em uma rodovia que apresenta diversos defeitos que compromete a sua usabilidade, com base em procedimentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), buscando identificar, classificar e inventariar as patologias superficiais, atribuindo a qualidade de que se encontra o revestimento asfáltico atualmente.

Logo, este trabalho tem por objetivo identificar e classificar as patologias existente, buscando avaliar o nível de serventia atual do trecho, conforme resultados obtidos no desenvolvimento do mesmo, trazendo soluções para a correção e restauração do pavimento.

2 JUSTIFICATIVA

As patologias nos pavimentos flexíveis estão presentes em boa parte das rodovias do país e, conseqüentemente, fazem parte do dia a dia de todos que utilizam essas vias. É notório o incômodo, perigo e prejuízo que as patologias causam aos usuários. Um exemplo disso é a constatação da CNT (2017) que, devido as péssimas condições dos pavimentos, em 2016 o setor de cargas teve um gasto excedente de 775 milhões de litros de diesel, que acarretou um aumento no custo da ordem de 2,34 bilhões, esses dados retratam somente um dos setores prejudicados, pois além desses, temos um prejuízo inestimável aos demais usuários que dependem da rodovia para manter seus negócios, ou ainda mais grave, quando relacionamos os acidentes com fatalidades. Neste contexto, é justificável a realização deste trabalho, que busca averiguar as causas que provocam a deterioração da via, afim de propor soluções aos problemas identificados e, como consequência, garantir a segurança aos usuários da via.

3 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a situação funcional do pavimento flexível da BR- 265, bem como propor soluções para os problemas identificados no trecho entre os quilômetros Km 425 e Km 413,2 aproximadamente, entre as cidades de Boa Esperança/MG e Santana da Vargem/MG.

3.1 Objetivos Específicos

- Delimitar um trecho rodoviário para estudo;
- Identificar as patologias do trecho, por meio de visita *in loco* e registros fotográficos;
- Identificar o conceito da estrutura do pavimento flexível, por meio do índice de gravidade global (IGG);
- Investigar as causas das patologias identificadas em campo, por análise visual e coleta de material para análise por meio de ensaios;
- Com os resultados obtidos, confrontar as especificações de projeto, com especificações solicitadas em normas técnicas e Manuais do DER/DNIT.
- Propor soluções para a recuperação do trecho estudado;
- Avaliar o Custo das soluções propostas;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Rodrigues (2005) define o transporte rodoviário, sendo um dos modais mais acessíveis, dependendo apenas da existência de rodovias ou estradas trafegáveis. O modal rodoviário é o mais recomendado para médias distâncias, transporte de mercadores e de maior valor agregado.

O benefício desse modelo de transporte é permitir a implantação de rotas, sendo importante para a realização de diversas atividades na cadeia produtiva de um país.

Ainda de acordo com Rodrigues (2005), as principais vantagens e desvantagens do transporte rodoviário são as conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do modal rodoviário.

Vantagens	Desvantagens
Maior disponibilidade de vias de acesso;	Maior custo operacional e menor capacidade de carga;
Rápidos embarques e partidas;	Nas épocas de safras provoca congestionamentos nas estradas;
Favorece o embarque de pequenos lotes;	Desgasta prematuramente a infraestrutura da malha rodoviária
Facilidade de substituir o veículo em caso de quebra ou acidente;	
Maior rapidez de entrega.	

Fonte: Rodrigues (2005).

Para a CNT (2007), a matriz de transporte rodoviário tem como seu principal modal o transporte rodoviário, devido a vários fatores, sendo alguns deles, cultural, o baixo investimento, quando comparado a outros modais, devido a sua flexibilidade e mobilidade urbano, possibilitando a interligação entre outros tipos de modais, o modal rodoviário tem a maior expressividade no Brasil e abrange todo o território brasileiro.

Ainda de acordo com a CNT (2007), as características do território nacional e a necessidade de seu desenvolvimento econômico, e de grande importância para o país, a conservação e ampliação da malha rodoviária, para garantir o nível de serviço, reduzir níveis de acidente, gerando como consequência a redução dos custos em geral.

4.1 Pavimento

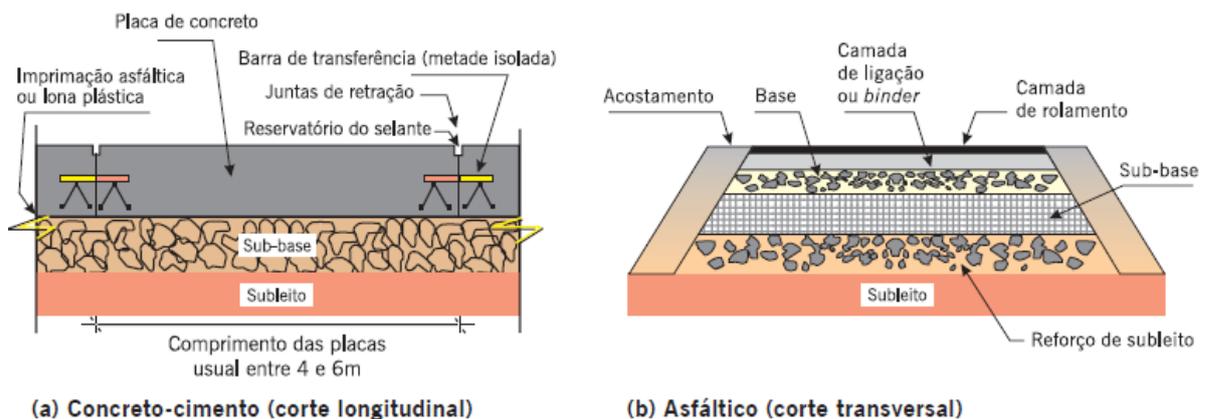
De acordo com Senço (2007), o pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada, técnica e economicamente a:

- Resistir aos esforços verticais e oriundos do tráfego e distribuí-los;
- Melhorar as condições de rolamento quando a segurança e conforto;
- Resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento;

Já para Balbo (2007) o pavimento compõe-se por uma estrutura não perene, constituída por camadas sobrepostas de materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerando diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e reabilitação, obrigatórios.

Para Bernucci et al (2006) o pavimento pode ser dividido em basicamente dois tipos de pavimentos: pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis. As nomenclaturas usuais são de pavimento de cimento Portland e pavimentos asfálticos, respectivamente indicando a classe do pavimento entre rígido e flexível (Figura 1).

Figura 1 - Pavimento de concreto e pavimento asfáltico



Fonte: Bernucci et al (2006, pág. 10).

Por fim para o DNIT (2006), a classificação dos pavimentos podem ser definidos como:

- a) Flexível: pavimento onde a deformação elástica é proporcionada em todas as camadas devido ao carregamento aplicado, portanto, os esforços são transmitidos de forma equivalente entre as camadas;
- b) Semirrígido: caracteriza-se por uma base cimentada, coberta por uma capa asfáltica.
- c) Rígido: o revestimento rígido absorve praticamente todas as articulações derivadas do carregamento aplicado sobre a estrutura, pois o revestimento possui uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores.

4.2 Pavimento flexível

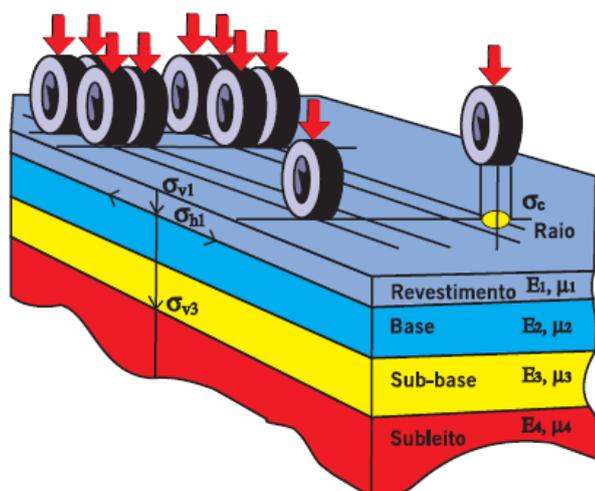
Para Silva (2008) o pavimento flexível é aquele em que a Camada de revestimento é de asfalto (CA), a base é de material granular (BG) e a sub-base é de material granular ou solo.

Pinto (2010), define o pavimento flexível, sendo aquele em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.

O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. O exemplo típico de pavimento flexível é constituído por uma base de brita (graduada ou macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida de uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

Nos pavimentos asfálticos ou pavimentos flexíveis, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural que tem como principal função limitar as deformações e tensões na estrutura do pavimento por meio de combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes (BERNUCCI et al, 2006)

Figura 2– Sistemas de camadas de um pavimento asfáltico (flexível).



Fonte: Bernucci et al (2006, pág.10).

O DNIT (2006), define as camadas do pavimento asfáltico em revestimento, subleito, base, sub-base em que:

- Revestimento: é a camada tanto quanto possível impermeável, que recebe a ação diretamente do rolamento dos veículos e destinada a melhorá-la, quanto à comodidade e segurança e a resistir ao desgaste.
- Base: é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento.
- Sub-base: é a camada complementar a base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização.
- Subleito: é o terreno de fundação do pavimento.

4.3 Mistura Asfáltica

Bernucci et al (2006), define a mistura asfáltica sendo um revestimento de agregados minerais de granulometria variada, variando também quanto a fonte, com ligantes asfálticos que proporcionada e processada adequadamente, garantam ao serviço executado os requisitos de estabilidade, flexibilidade, impermeabilidade, durabilidade, resistência a derrapagem, fadiga e trincamento de acordo com o clima e tráfego especificado.

Ainda de acordo com Bernucci et al (2006), as misturas asfálticas são materiais visco elásticos, que quando submetidos a carregamentos repetidos podem romper por trincamento, fadiga, deformação permanente ou por uma combinação desses mecanismos de degradação.

Para o DNIT 031/2006 – ES (2006) as misturas asfálticas são um composto de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico (CAP), misturada, espalhada e compactada a quente.

Segundo Leite (2003) o CAP é um material composto por adesivo termoplástico, impermeável à água, visco elástico e pouco reativo, ou seja:

a) Termoplástico: permite que seja realizado um manuseio a quente. Em seguida, o resfriamento retorna à condição de viscoelasticidade;

b) Impermeável: evita que haja penetração de água (chuva) na estrutura do pavimento, fazendo com que o escoamento seja direcionado para os dispositivos de drenagem;

c) Visco elástico: acorda o comportamento elástico (sob aplicação de carga curta) e o viscoso (sob longos tempos de aplicação de carga);

d) Pouco reativo: em termos químicos, somente o contato com o ar proporciona a oxidação lenta, porém pode ser acelerado pelo aumento da temperatura.

DNIT 031/2006 – ES (2006) determina que podem ser empregados os seguintes tipos de Cimento asfáltico de petróleo (CAP), que são classificados quanto a penetração e viscosidade:

a) Classificação por penetração

- CAP – 30/45

-CAP – 50/70

-CAP – 85/100

Ainda de acordo com a DNIT 031/2006 –ES (2006) a faixa granulométrica usada, deve ser a que tenha diâmetro máximo inferior a 2/3 da espessura da camada de asfalto. No projeto da curva granulométrica, para a camada de revestimento, deve-se levar em conta a segurança do usuário. A Tabela 2 e Tabela 3 abaixo, especifica a composição do CAP, satisfazendo as condições granulométricas, os percentuais de ligante asfáltico, percentuais de vazios, relação ligante/vazios, resistência a tração por compressão e estabilidade mínima, determinados no projeto de massa asfáltica e o limite das características do CAP.

Tabela 2 – Composição do CAP.

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando			
Serie ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	±7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	±7%
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	±7%
1/2"	12,7	-	-	80 - 100	±7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	±7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	±5%
Nº 10	2	20 - 40	20 - 45	22 - 50	±5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	±5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	±3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	±2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0	4,5 - 7,5	4,5 - 9,0	±0,3%
		Camada ligação (Binder)	Camada de ligação e rolamento	Camada de rolamento	

Fonte: DNIT 031/2006 – ES.

Tabela 3 – Valores limites para CAP (Concreto asfáltico).

Características	Método de ensaio	Camada de rolamento	Camada de ligação
Porcentagem de vazios, %	DNER - ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER - ME 043	75 - 82	65 - 72
Estabilidade mínima, (kgf) (75 golpes)	DNER - ME 043	500	500
Resistencia a tração por compressão diametral estática a 25°C, mínima, Mpa	DNER - ME 138	0,65	0,65

Fonte: DNIT 031/2006 – ES.

4.4 Tipos de Patologia no pavimento flexível

Silva (2008) define que uma estrutura de pavimento, para atingir esse objetivo, deve ser projetada e construída de maneira que garanta economicamente a qualidade da pista de rolamento. Quando um pavimento deixa de atender satisfatoriamente a segurança e conforto ou, quando sua estrutura está de qualquer forma ameaçada, algum tipo de reparo ou reabilitação, deve ser empreendido, para que ele volte a ser seguro e de rolamento suave.

Bernucci et al (2006) determina que a superfície do pavimento é mais importante para o usuário, pois as patologias e irregularidades são perceptíveis, afetando o conforto, provendo sensação de insegurança.

Domingues (1993), destaca que as patologias são determinadas por similaridades nos mecanismos de aparência visual, indicando as prováveis causas e motivos de ocorrência. Os níveis de severidade são classificados como baixo, médio e alto, a depender da exigência da reabilitação da rodovia.

Para determinar os tipos de patologias existentes nos pavimentos flexíveis o DNIT especificou uma normativa de terminologia, a DNIT 005/2003 – TER (2003). Nessa normativa consta a especificação de defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semirrígidos.

De acordo com Silva (2008) as patologias em pavimento flexível podem ser classificadas em 5 grupos:

- a) Deformações de superfícies (Corrugações, afundamento);
- b) Defeitos de superfície (exsudação de asfalto e desgaste);
- c) Pannelas;
- d) Escorregamento do revestimento betuminoso;
- e) Trincas e fissuras (fendas);

4.4.1 Deformações de superfícies (Corrugações, afundamento)

A DNIT 005/2003 – TER (2003) caracteriza o afundamento sendo a depressão da superfície do pavimento, acompanhada ou não de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.

Domingues (1993) define o afundamento da trilha de roda, como uma depressão que pode ocorrer pela elevação ao longo das bordas dessa depressão. As causas prováveis do afundamento da trilha de roda são a compactação inadequada durante a construção, mistura

asfáltica ruim, enfraquecimento dos materiais abaixo do pavimento, devido a infiltração de água.

Já para as corrugações (ou costelas), Silva (2008) as define como ondulações transversais ao eixo da via (várias ondulações em intervalos de 3(três) metros, devido à má execução e excesso de asfalto e finos. É comum em subidas, rampas, curvas e interseções.

Para Domingues (1993) as corrugações são movimentos do revestimento asfáltico, que podem ter como causas prováveis a falta de estabilidade da mistura asfáltica, excessiva umidade no solo do subleito, contaminação da mistura asfáltica, falta de aeração das misturas líquidas do asfalto. Na Figura 3 e Figura 4 temos exemplo de Corrugação e ondulação.

Figura 3 – Afundamento trilha de roda.



Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

Figura 4 – Corrugação do pavimento



Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

4.4.2 Defeitos de superfície (exsudação de asfalto e desgaste)

Segundo o DNIT 005/2003 – TER (2003) o desgaste e o arranchamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento.

Para Silva (2008), o desgaste e o polimento superficial da camada de asfalto associado ao tráfego e ao intemperismo, no limite do desgaste pode-se ter uma superfície polida, comprometendo a segurança à derrapagem.

Domingues (1993) define o desgaste sendo a inexistência de (ou muito pouca) porção de agregado projetando-se acima da superfície do pavimento. Nesse caso, não a aspereza ou partículas angulares dos agregados para proporcionar boa resistência à derrapagem. As principais causas prováveis do desgaste são associadas a ação de repetidas passagens dos veículos.

Domingues (1993) define a exsudação, sendo um filme de material betuminoso que aparece da superfície do pavimento, criando um brilho vítreo. Esse filme betuminoso torna a superfície refletiva e bastante pegajosa, a exsudação é irreversível, gerando acúmulo de asfalto na superfície.

DNIT 005/2003 – TER (2003), define a exsudação como o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.

Para Silva (2008) a exsudação é causada pelo efeito da dilatação do asfalto no calor, assim sendo, não havendo espaço para ele ocupar devido a um baixo volume de vazios ou excesso de ligante (problema na massa asfáltica), o mesmo exsudará através do revestimento e ter-se-á uma superfície (na trilha de roda) que brilha devido ao excesso de ligante betuminoso. Na Figura 5 e Figura 6 temos exemplos de exsudação e desgaste do pavimento.

Figura 5– Exsudação.



Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

Figura 6– Desgaste.



Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

4.4.3 Panelas

A DNIT 005/2003 – TER (2003) define panelas, sendo uma cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre as camadas), provocando desagregação entre as camadas do pavimento.

Silva (2008) define que as panelas são buracos que se formam no revestimento que podem atingir a base. As panelas são evoluções de trincas, afundamentos ou até mesmo desgaste. Elas podem ser geradas com o acúmulo de água nas trincas ou afundamentos da trilha de roda, tendendo a amolecer e a desagregar as camadas do pavimento.

Domingues (1993) define as panelas como sendo cavidades formadas na superfície do pavimento. De acordo com o autor as principais causas prováveis são as trincas por fadiga, a desintegração localizada na superfície do pavimento e os ciclos degelo-gelo, acompanhados da presença de humidade. A Figura 7 abaixo representa uma panela com grau de severidade alto.

Figura 7 – Panela com grau de severidade alto.



Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

4.4.4 Escorregamento do revestimento betuminoso

DNIT 005/2003 – TER (2003) explica que o deslocamento da camada de revestimento em relação à base é chamado de escorregamento (E). Consiste no aparecimento de fendas e trincas em forma de meia lua devido à falta de aderência entre a camada de revestimento e a camada subjacente, ou baixa resistência da massa asfáltica.

Segundo Bernucci *et al* (2006) define o escorregamento da massa asfáltica sendo a fluência decorrente de excesso de ligante, em geral localizadas, às trilhas de rodas e às bordas dos pavimentos.

Figura 8 – Escorregamento do revestimento.



Fonte: Bernucci et al (2006, pág. 420).

4.4.5 Trincas e fissuras (fendas)

Domingues (1993) define fissuras sendo fendas capilares existentes no revestimento asfáltico, somente perceptíveis a vista humana a uma distância inferior a 1,5 metros. Ainda de acordo com o autor as fissuras são causadas pela má dosagem do asfalto, por excesso de finos no revestimento, por compactação em momento inadequado (base não estável, mistura muito quente) ou por compactação excessiva.

DNIT 005/2003 – TER (2003) define trincas com sendo fendas existentes no revestimento, facilmente visíveis a olho nu, com abertura superior a fissura podendo se apresentar de forma isolada ou interligada. As trincas isoladas são divididas em trincas transversais (TT), trincas longitudinais (TL) e trincas de retração (TR). Para as trincas interligadas temos dois tipos: trincas do tipo “Couro de Jacaré” ou trincas por fadiga (TF) e trincas do tipo bloco (TB).

Para trincas do tipo transversais (TT), Domingues (1993) as define como um conjunto de trincas perpendiculares a linha central do pavimento. As causas prováveis de acordo com o autor são: contração da capa asfáltica, devido a baixas temperaturas; propagação de trincas abaixo do revestimento da estrada. Na Figura 9 temos a representação de uma trinca transversal.

Figura 9– Trincas Transversais.

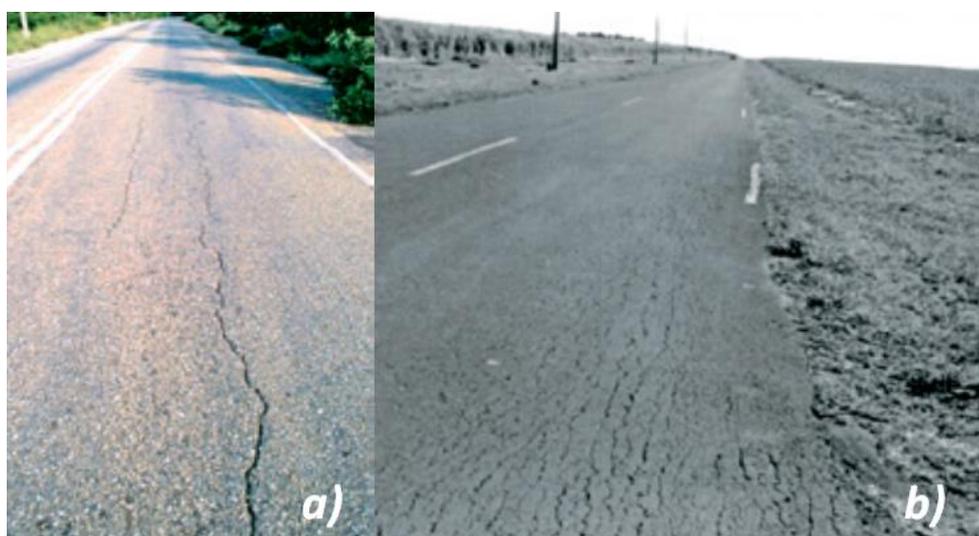


Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

As trincas longitudinais (TL) são um conjunto de trincas paralelas a linha central do pavimento. Podem ser causadas por má execução da junta longitudinal de separação entre as faixas de tráfego, recalque diferencial no caso de alargamento do pavimento, contração da capa asfáltica devido a baixas temperaturas no endurecimento do asfalto e por último a propagação de trincas abaixo do revestimento da estrada, incluindo trincas (não juntas) em placas de cimento Portland (DOMINGUES, 1993).

Bernucci et al (2008) define que as trincas longitudinais são decorrentes da ação do umedecimento da base por infiltração de água pelos acostamentos não protegidos e ação conjunta do tráfego. Na Figura 10 temos uma representação de trinca longitudinal:

Figura 10 – Trinca longitudinal longa (a) e conjunto de trincas longitudinais (b)



Fonte: Bernucci et al (2006, pág. 418).

DNIT 005/2003 – TER (2003), define as trincas de retração como trincas isoladas não atribuídas a fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento, base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado.

Para Bernucci et al (2006) as trincas de retração são decorrentes da reflexão de trincas de placas de concreto de cimento Portland ou de trincas preexistentes. Na Figura 11 temos uma representação de uma trinca de retração.

Figura 11 – Trinca de retração.



Fonte: Bernucci et al (2006, pag.417).

De acordo com Bernucci (2006), as trincas interligadas podem ser relacionadas como trincas jacaré (J), que estão associadas à fadiga e as trincas em bloco que não estão relacionadas à este evento. As trincas J e TB podem ocorrer erosão acentuada em suas bordas e passarão a chamar J.E. (trinca de jacaré com erosão) e TBE (Trinca em bloco com erosão), demonstrado na Figura 12.

Bernucci (2006) salienta que as principais causas do aparecimento das TB são as ações repetidas de cargas do tráfego; ação do clima (gradientes térmicos); envelhecimento do revestimento; compactação deficiente; baixo teor de ligante asfáltico; subdimensionamento; rigidez excessiva do revestimento; reflexão de trincas; recalques diferenciais; entre outros. Com surgimento em trilhas de roda, bordas e até mesmo de forma generalizada.

Figura 12 - Trincas em Bloco sem erosão (a) e com erosão (b)



Fonte: Bernucci et al (2006, pág.417).

4.4.6 Desnível

De acordo com Domingues (1993), desnível entre a pista e o acostamento é caracterizada pela diferença em elevação entre a pista e o acostamento. Normalmente o acostamento está mais baixo que a pista, as causas mais prováveis para este tipo de patologia são o recalque diferencial, a elevação do acostamento devido à ação do frio ou do inchamento do solo; perda de material de acostamento não estabilizado, em consequência do lançamento ou deslocamento de ar devido à passagem de caminhões, defeito de construção. Na Figura 13 temos uma representação de desnível entre pista e acostamento.

Figura 13 – Desnível entre pista e acostamento.



Fonte: o autor.

4.4.7 Remendos

Bernucci et al (2006) define o remendo, sendo um tipo de defeito relacionado a conservação da superfície e caracteriza-se pelo preenchimento de panelas ou de qualquer outro orifício/depressão no pavimento asfáltico.

Para Domingues (1993), remendo é uma porção do revestimento onde o material original foi removido e outro material similar ou diferente foi recolocado em seu lugar. Ainda de acordo com o autor as principais causas prováveis de deterioração dos remendos estão relacionadas a carga de tráfego, emprego de material de má qualidade, ação do meio ambiente e má construção. A Figura 14 representa um típico remendo bem executado.

Figura 14 – Remendo bem executado.



Fonte: Bernucci et al (2006, pág. 422).

4.5 Métodos de ensaios e especificação

O DNIT (2006) em seu manual de pavimentação, define que é necessário processo para a aplicação, produção, utilização de equipamentos, controle de qualidade dos materiais empregados na execução da camada de revestimento para os pavimentos flexíveis, desde a sua confecção de mistura asfáltica produzida na usina, até a compactação da base, sub-base e regularização do subleito.

Ainda de acordo com o DNIT (2006), destaca-se a especificação de serviço DNIT 031/2006 – ES (2006), que se trata da especificação de pavimentos flexíveis de concreto asfáltico (CAP), sendo essa especificação de serviço responsável pelos parâmetros a serem

aplicados no projeto de massa asfáltica, sendo especificados o cimento asfáltico, agregados, material de enchimento, granulometria, ensaio Marshall, controle de temperatura, melhorador de adesividade, espalhamento e compactação na pista, condições de segurança e controle tecnológico.

Ainda na especificação técnica 031/2006, segundo DNIT (2006), para definição da faixa de CBUQ, deve estabelecer a granulometria, dos agregados graúdos, miúdos e material de enchimento (filler), presente na mistura asfáltica, na qual as mesmas são baseadas no método de ensaio DNER ME 083/1988 – Agregados Análise Granulométrica.

Por fim, para determinar a estabilidade e fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico a quente, a norma que orienta em questão aos procedimentos a serem adotados e a DNER-ME – 043/95 (1995), que se denomina ensaio Marshall.

4.5.1 Granulometria

Senço (2007) define que a composição granulométrica do solo, permite o conhecimento das porcentagens das partículas constituintes e função de suas dimensões, o que representa um elemento de grande valia para os estudos do comportamento do solo, quer como elemento constituinte da fundação do solo de um pavimento, quer como constituinte das próprias camadas do pavimento.

O ensaio de granulometria é normatizado pelo DNER 083/98 – ME (1998), essa norma fixa os objetivos para o procedimento para análise granulométrica de agregador miúdos e graúdos por peneiramento.

Para se realizar o ensaio de granulometria a DNER 083/98 – ME (1998), define a aparelhagem necessária para a execução do ensaio, sendo:

- a) Agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para a fixação desde uma peneira até seis, inclusive tampa e fundo.
- b) Peneiras de malhas quadradas conforme a DNER-ME 035/95.
- c) Balança com capacidade de 20 kg, sensível a 1g;
- d) Estufa de dimensão apropriada, capas de manter temperatura uniforme (110 ± 5) °C;
- e) Escovas apropriadas para limpeza de peneiras;
- f) Repartidores de amostra;
- g) Tabuleiros metálicos de 50 cm x 30 cm x 6 cm;

De acordo com a DNER 083/98 – ME (1998), o ensaio de granulometria se dá pelo peneiramento mecânico das amostras, secas em estufa (110 ± 5) °C, esfriando as a temperatura ambiente para determinar sua massa total.

Em seguida encaixa-se as peneiras limpas, no agitador de peneiras, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura da malha em ordem crescente da base ao topo. Após a montagem do peneiramento mecânico colocar uma quantidade de massa sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. O peneiramento deve ser continuado até que não mais que 1% da massa total da amostra passe em qualquer peneira durante 1(um) minuto (DNER, 1998).

Em sequência, pesa-se cada massa total de amostra retida nas peneiras, juntamente com a porção que tenha ficado presa nas malhas. O somatório das massas retidas não deve diferir de mais de 0,3% da massa seca inicialmente introduzida no conjunto de peneiras (DNER, 1998).

Por fim para-se realizar os cálculos das amostras de acordo com a DNER 083/98 – ME (1998), somam-se as massas retidas em cada peneira e compara-se este total com a massa inicial da amostra seca; havendo diferenças superior a 0,5%, repetir o ensaio. Assim sendo, calcula-se a amostra total seca retida em cada peneira, com a massa retida em cada peneira, pesada separadamente, obtém-se a porcentagem de material seco em cada peneira, tendo no final a porcentagem granulométrica da amostra total do solo.

4.5.2 Ensaio CBR

Bernucci et al (2006) define o CBR Califórnia Bearing Ratio (CBR), ou em português Índice de Suporte Califórnia (ISC) sendo o ensaio para avaliar o potencial de ruptura do subleito, uma vez que era o defeito mais frequentemente observados nas rodovias do estado da Califórnia. O ensaio foi concebido, portanto, para avaliar a resistência do material frente a deslocamentos significativos, sendo obtidas em ensaio no laboratório.

Para Senço (2007) o ensaio CBR, pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo, convenientemente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada ou material equivalente.

Ainda de acordo com Senço (2007), a execução do ensaio, geralmente moldam-se corpos-de-prova com teores de unidade indicados pelos ensaios de compactação.

Para a determinação do CBR ou ISC, o DNIT disponibiliza através de normatização de métodos de ensaio a DNIT 172/2016 – ME (2016), essa norma especifica as condições para a determinação do índice de suporte Califórnia de solos.

4.5.3 Ensaio Marshall

Bernucci et al (2006) define o ensaio de dosagem Marshall, sendo utilizado para definir a proporção do agregado e ligante capaz de resistir as cargas de roda e pressão de pneus.

De acordo com a DNER 043/95 – ME (1995), o ensaio Marshall é usado para determinar a estabilidade Marshall e a fluência Marshall, a estabilidade Marshall e a resistência máxima a compressão radial apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em N (kgf). A fluência Marshall e a deformação total apresentada pelo corpo-de-prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro (centésimos de polegada).

4.6 Índice de Gravidade Global (IGG)

A avaliação subjetiva explana a opinião dos avaliadores com relação ao pavimento flexível, essa avaliação objetiva a mensurar os defeitos que afetam a serventia do pavimento. Para normatizar esses procedimentos a norma DNIT 006/2003 – PRO (2003), acrescida da norma DNIT 007/2003 – PRO (2003), define ocorrências visíveis e as deformações permanentes nas trilhas de roda.

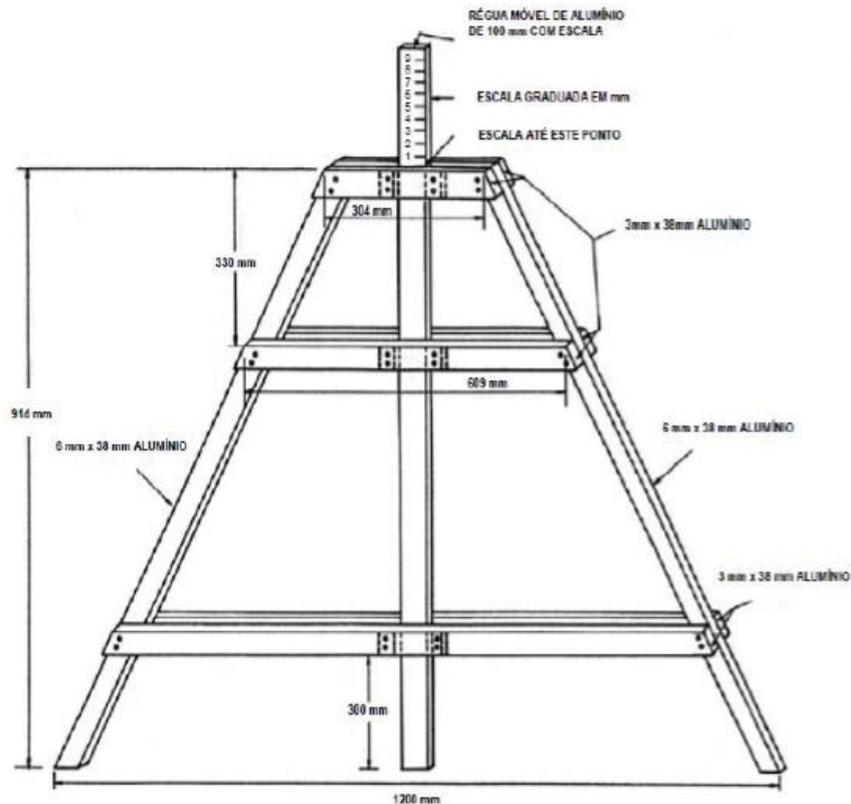
A DNIT 006/2003 – PRO (2003) fixa as condições exigíveis na avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos para inventário e classificação de ocorrências aparentes e deformações permanentes nas trilhas de roda. Descreve também a aparelhagem necessária e estabelece conceitos de degradação de pavimento com base em cálculos de frequências absolutas e relativas das ocorrências inventariadas e fixação do índice de gravidade global (IGG).

De acordo com a DNIT 006/2003 – PRO (2003), para avaliação da superfície deve ser considerado os seguintes aparelhos:

- a) Treliça de alumínio, padronizada, tendo 1,20m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio e que permite medir, em milímetros, as flechas da trilha de roda (Figura 15);

- b) Equipamento e material auxiliar para localização e demarcação na pista das estações de avaliação; tais como: trena com 20m, giz, tinta, pincel, formulários, etc.

Figura 15 - Trelça para medição das flechas da trilha de roda.



Fonte: DNIT 006/2003 – PRO Anexo A (normativo).

Na utilização da DNIT 006/2003 – PRO (2003), são delimitadas estações a serem inventariadas. As superfícies de avaliação devem ser localizadas de modo que nas rodovias de pistas simples, a cada 20 metros alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 m em 40 m em cada faixa de tráfego) e nas rodovias de pista dupla a cada 20 m, na faixa de tráfego solicitada de cada pista. As superfícies de avaliação demarcadas sobre o pavimento por meio de pintura com tinta de demarcação, cada estação recebe um número correspondente à estaca ou distância do marco quilométrico, a demarcação citada deve ser feita com gabarito apropriado, constando em cada caso de um traço de 0,30 m x 0,025 m, com a borda da seção transversal, a extremidade externa distante 0,06 da borda do revestimento da pista de rolamento, e pintados traços um 3 metros avante e outro 3 metros a ré.

O Quadro 1 mostra a codificação e classificação dos defeitos do pavimento flexível, de acordo com a norma DNIT 005/2003 – TER.

Quadro 1: Codificação e classificação dos defeitos do pavimento flexível

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	*Jacaré*	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	*Jacaré*	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	*Bloco*	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
OUTROS DEFEITOS					CODIFICAÇÃO		
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas de pavimento ou do subleito		ALP		
		Da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas de pavimento ou do subleito		ATP		
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito		ALC		
		Da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito		ATC		
Ondulação/Corrugação – Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base					O		
Escorregamento (do revestimento luminoso)					E		
Exsudação do litigante betuminoso no revestimento					EX		
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D		
“Painéis” ou buracos decorrentes da degradação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P		
Remendos			Remendo Superficial		RS		
			Remendo Profundo		RP		

Fonte: DNIT, 005/2003 – TER.

As seguintes etapas para se conseguir o IGG, seguindo as etapas com suas respectivas equações. Após a análise visual, segue para determinação da frequência absoluta (f_a) correspondente ao número de vezes que a ocorrência foi verificada. A equação da frequência relativa (f_r) e obtida através da equação

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \quad \text{Equação 1- Frequência relativa}$$

Onde:

f_r - Frequência relativa.

f_a - Frequência absoluta.

n - Número de estações inventariadas.

Para cada uma das ocorrências inventariadas, deve ser calculado o IGI (índice de gravidade individual), pela seguinte equação:

$$IGI = f_r \times f_p \quad \text{Equação 2 - IGI}$$

Onde:

f_r - Frequência relativa.

f_p - Fator de ponderação obtido pela Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Valor do Fator de Ponderação.

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002 – TER “Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia”	Fator de ponderação (fp)
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE)	0,8
Nota: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipo 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para cálculo da frequência relativa em percentagem (f_r) e índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.		
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: DNIT 006/2003 – PRO.

Para as medidas das flechas devem ser calculados os seguintes parâmetros:

- a) Quando a média aritmética das médias das flechas for igual ou inferior a 30, o fator de ponderação é igual a 4/3; quando superior a 30, o Índice de Gravidade Individual é igual a 40;
 - b) Quando a média das variâncias das flechas for igual ou inferior a 50, o fator de ponderação é igual a 1 (um); quando superior a 50, o Índice de Gravidade Individual é igual a 50.
 - c) Para as flechas medidas, devem ser calculados os seguintes parâmetros para as rodovias de pista simples, a média (\bar{x}) e a variância (s^2) das flechas medidas nas TRI e TRE de ambas as faixas de tráfego. No caso de “terceiras faixas”, estes parâmetros devem ser considerados separadamente;
 - d) Para as rodovias de pista dupla, a média (\bar{x}) e a variância (s^2) das flechas medidas nas TRI e TER das faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista, separadamente.
- Nota 3: As fórmulas para o cálculo da média e da variância dos valores das flechas TRI e TER são descritas conforme equações abaixo.

$$\bar{X} = \frac{\sum Ex_i}{n} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Equação 3 – Média e variância das flechas medidas}$$

Em que:

\bar{X} – Média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TER);

x_i – Valores individuais;

s – Desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TER);

s^2 - Variância;

Finalmente o Valor do Índice de Gravidade Global (IGG) e dado por meio da seguinte equação:

$$IGG = \sum IGI \quad \text{Equação 4 – Índice de Gravidade Global}$$

Onde:

IGI - Somatório dos índices de gravidade individuais;

Nota: O índice de Gravidade Global deve ser calculado para cada trecho homogêneo de acordo com o anexo C da DNIT 006/2003 – PRO.

Por fim, de acordo com a DNIT 006/2003 – PRO (2003), o conceito de degradação do pavimento inventariado em função do grau de degradação atingido, é definido a correspondência apresentada na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Conceitos de degradação em função do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: DNIT 006/2003 – PRO.

4.7 Levantamento do tráfego

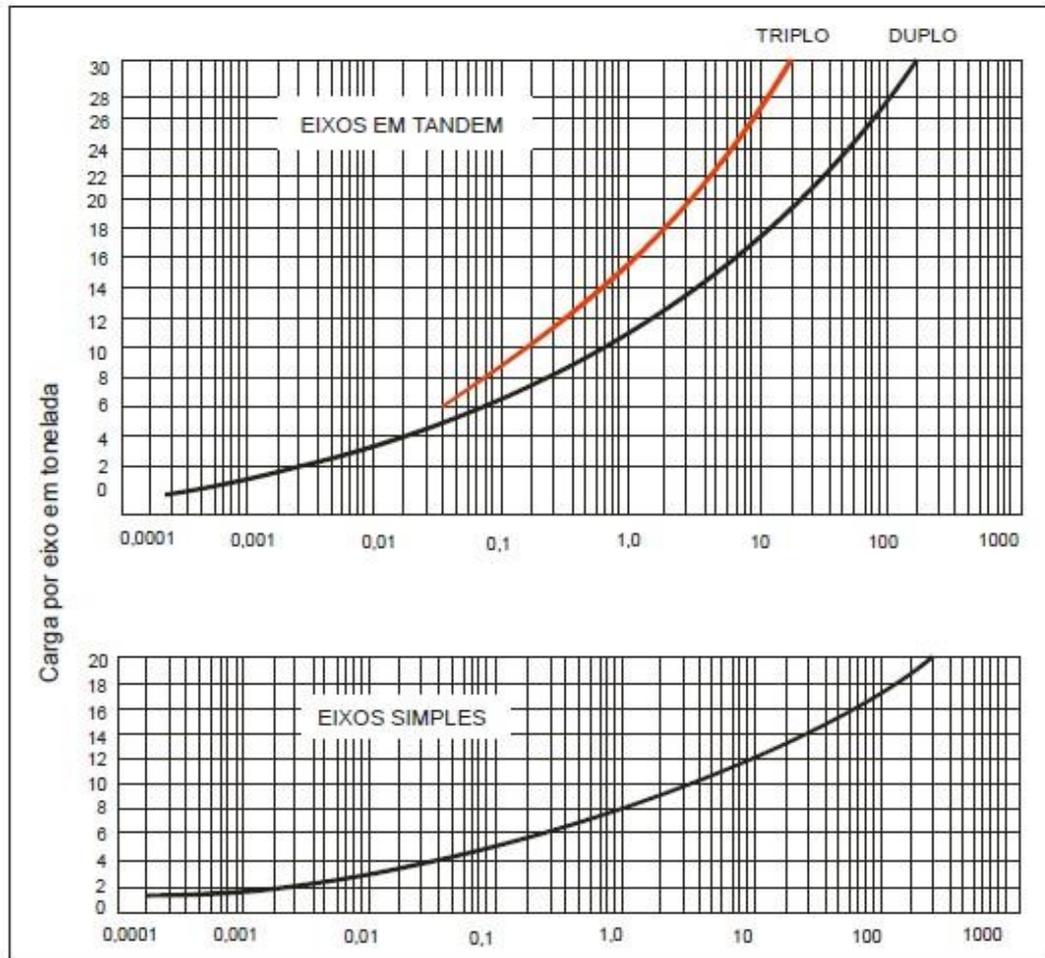
De acordo com Pinto (2002) o número equivalente N, tem grande importância para o dimensionamento de uma rodovia, ele é determinado pela quantidade de repetições equivalentes à de um eixo padrão considerado com 8,2 toneladas durante o período de vida útil do projeto do pavimento.

Para a determinação de N, é necessária a contagem do fluxo de veículos que trafegam por um determinado trecho para a composição do VMDA. Após a obtenção o VMDA, deve calcular o Vm (Volume Médio) em um sentido.

Segundo o DNIT (2006) para obter os fatores de equivalência de operação, deve se executar a contagem total e pesagem dos eixos dos veículos que trafegam pelo trecho analisado, seguindo ábaco demonstrado na Figura 19. Os diferentes veículos são classificados em categorias, sendo:

- a) Automóveis;
- b) Ônibus;
- c) Caminhões leves, com dois eixos simples, de roda simples;
- d) Caminhões médios, com dois eixos, sendo o traseiro de rodas duplas;
- e) Caminhões pesados, com dois eixos, sendo o traseiro tandem;
- f) Reboques e Semirreboques, as diferentes condições de veículos em unidades múltiplas.

Figura 16 - Fatores de Equivalência de Operação



Fonte: DNIT (2006).

Com os dados da pesagem, forma-se uma tabela contendo em separado os diversos tipos de eixos por intervalo de carga, representados pelo ponto central. Ainda, seguindo o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), pode ser utilizado como fonte para auxiliar a determinação do número N o quadro Veículos Adotados na Classificação do DNIT.

4.8 Classificação das contagens

Conforme o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), as contagens podem ser classificadas de acordo com a finalidade de estudo:

- Contagens Globais: são contagens de tráfego que independe o sentido do fluxo, ou seja, todos os veículos que circulam pela via. É usual para preparação de mapas de fluxo,

determinação de tendências de tráfegos e empregadas em cálculos de volumes diários (DNIT, 2006).

- Contagem Direcionais: são as contagens de tráfego que leva em consideração o sentido do fluxo. É usual para determinação de intervalos de sinais, justificção de controles de tráfegos, previsões de faixa adicional, estudos de acidentes, etc. (DNIT, 2006).
- Contagens Classificadorias: este tipo de contagem é o mais completo, pois leva em consideração o sentido do fluxo e também os tipos e classes de veículos. É usual para dimensionamentos estruturais e projetos geométricos de rodovias, cálculo de benefícios aos usuários, cálculo de capacidade e determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas (DNIT, 2006).

4.9 Contagem manual

Há diferentes tipos de contagens de tráfego, mas as contagens volumétricas manuais são elaboradas por pesquisadores, com a ajuda de fichas e contadores manuais, com objetivo de ter a classificação dos veículos que o trafegam. O processo usual, é manusear contadores manuais mecânicos juntamente com uma prancheta, na qual também estabelece a ficha de transição dos dados.

Existem dois tipos distintos de fichas a serem adotadas para efetuar a contagem, em que levam em consideração a maneira de contagem do tráfego. A ficha I é preenchida manualmente e é usual para volume de tráfego baixo, incluindo os tipos de veículos. Já a ficha II, para o preenchimento, é preciso usar contadores manuais eletrônicos que salvam na memória interna os resultados, que podem transferir os dados diretamente para outra fonte (DNIT, 2006; SÃO PAULO, 2004).

A Figura 20 e Figura 21 a seguir, mostra como é a ficha de contagem volumétrica I usada pelo Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006).

5 METODOLOGIA

Como metodologia para realizar o presente estudo, foi delimitado um trecho de rodovia, visando conceber uma análise superficial das patologias em pavimentos flexíveis.

A princípio, fez-se avaliação visual e fotográfica das patologias encontradas, que segundo estudos é a maneira mais eficiente de se obter informações sobre o estado de serventia de um pavimento. Existem vários métodos de avaliar as condições das estradas e pavimentos, determinando um Índice de qualidade para um trecho estabelecido e previamente analisado, bem como estabelecer análises estatísticas diretamente ligadas as patologias identificadas na superfície do pavimento.

Como método de avaliação será utilizado o já referido Índice de Gravidade Global (IGG) que se utilizará inicialmente de uma contagem das diferentes patologias encontradas na via dentro de uma determinada distância separada por estacas ou alguma demarcação.

O estaqueamento foi realizado de 200m em 200m, (devido à grande extensão do trecho analisado e tendo em vista que os dados levantados são para fim de anteprojeto) totalizando 60 estações, as quais tiveram os seus defeitos anotados. As estações foram nomeadas da seguinte maneira: primeira sendo 0 + 00 m, a segunda 0 + 200 m, até chegar a última.

Em seguida procedeu-se com a coleta de dados para o preenchimento da planilha do DNIT, 006/2003 – PRO, que leva em consideração a seção do terreno, os tipos de defeitos (o conjunto de trincas e suas divisões, afundamentos plásticos ou consolidados, ondulações, painelas, exsudação, desgastes, remendos e trilhas de rodas). Também foram feitos registros fotográficos de todos os tipos de defeitos encontrados no trecho em estudo.

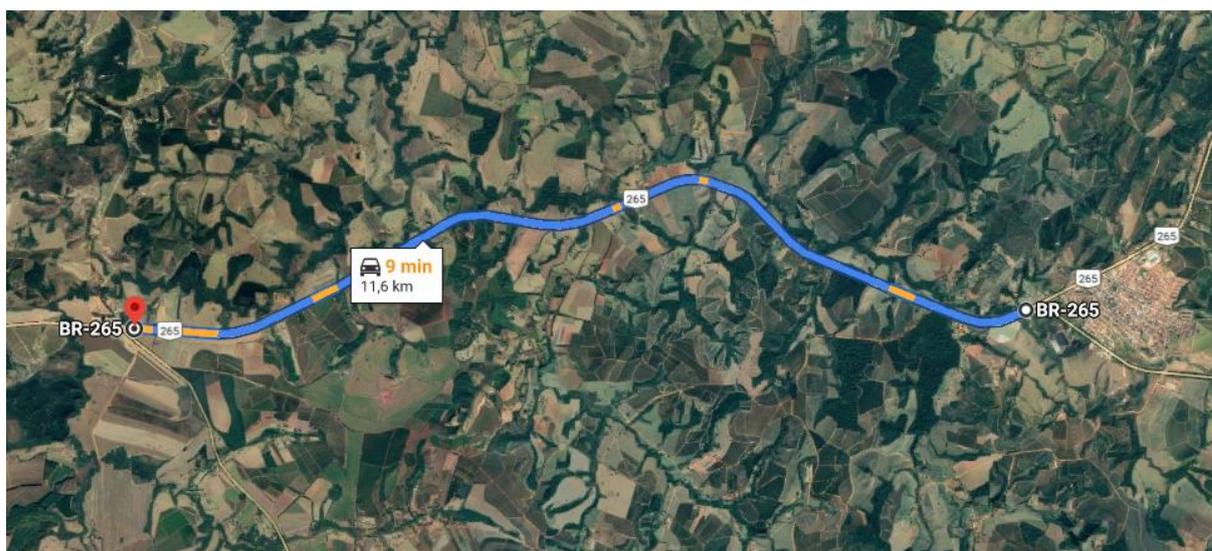
Para a realização do cálculo do IGG os seguintes passos foram realizados com a ajuda de planilha Excel:

- Inicialmente foi calculado a frequência absoluta dos defeitos, por meio de contagem de cada tipo de defeito;
- Em seguida é calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), por meio da multiplicação da frequência relativa de cada defeito por seu fator de ponderação;
- Finalmente calcula-se o Índice de Gravidade Global, fazendo o somatório do Índice de Gravidade Individual.

6 ESTUDO DE CASO

Para a realização deste trabalho, foi delimitado um trecho da rodovia BR 265 entre os quilômetros 425 ao quilometro 413, totalizando uma extensão de 12km . Este trecho apresenta um alto índice de patologias, o que justifica a realização da análise superficial do pavimento flexível.

Figura 19 - Imagem aérea Rodovia MG-265 - Km 425 à Km 413,2.



Fonte: Google Maps (2020).

A BR-265 é uma rodovia federal transversal do Brasil. Possui uma extensão de 916,2 quilômetros e interliga os estados brasileiros de Minas Gerais e São Paulo, além de aproximar-se da divisa entre os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.

O trecho em análise está delegado ao DER/MG e recebe um tráfego considerável, de acordo com os dados disponibilizados pelo DNIT (2009) a estimativa do volume médio diário anual (VMDA), é de 1975 veículos por dia.

Conforme ilustra a Figura 17, o início do trecho em estudo está situado especificamente no Km 425, próximo ao trevo que da saída para Campos Gerais e Alfenas, finalizando no trevo de Santa da Vargem que da saída para Três Pontas como mostra a Figura 18.

Figura 20- Início do trecho em análise



Fonte: Autor (2020)

Figura 21 - Final do trecho em análise



Fonte: Autor (2020)

7 DIAGNÓSTICO

A avaliação do trecho realizada a cada 200 m de ambos os lados da via, apresentou uma grande variedade de defeitos, desde trincas isoladas, trincas longitudinais e transversais, até a presença de panelas, desgastes, afundamentos locais, remendos e ondulações.

O inventário do estado da superfície do pavimento de acordo com a norma do DNIT, 006/2003 – PRO a qual especifica todos os tipos de defeitos presentes no trecho estudado, foi realizado por meio do preenchimento da Tabela 6.

Tabela 6 – Levantamento dos defeitos no trecho (Parte I)

Estaca ou km		Seção Terrap.		OK		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO												ESTACA OU		FOLHA:								
						OPERADOR:												ESTACA OU		ESTACA OU								
						REVESTIMENTO TIPO: ISD																						
						DATA: 05/2020																						
						TRINCAS			INTERLIGADAS			AFUNDAMENTOS			OUTROS DEFEITOS						TRINCAS		RODAS		Observações:			
																					IRI		mm					
																					R		8					
																					D		7					
																					E		5					
																					P		5					
																					O		5					
																					ALC		4					
																					ATP		4					
																					ALP		4					
																					FC-3		TBE 3					
																					FC-2		JE 3					
																					TLC		TBE 3					
																					TLL		TBE 3					
																					TIR		TBE 3					
																					TIL		TBE 3					
																					TTC		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					
																					X		TBE 3					

As imagens com as referidas patologias estão especificadas quilômetro por quilômetro partindo do Km 413 para o Km 425 nos Apêndices de A a M.

Dando sequência utilizando a tabela planilha de cálculo do IGG (DNIT, 006/2003 – PRO), onde o Quadro 2 apresenta os valores encontrados através do levantamento, bem como os valores calculados para se obter o Índice de Gravidade Global.

Quadro 2 - Cálculo do IGG

Tipo	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual
1	(FCD) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TER	187	311,67	0,2	62,33
2	(FCII) J, TB	29	48,33	0,5	24,17
3	(FCIII) JE, TBE	0	0,00	0,8	0,00
4	ALP, ATP	31	51,67	0,9	46,50
5	O, P, E	67	111,67	1	111,67
6	Ex	0	0,00	0,5	0,00
7	D	22	36,67	0,3	11,00
8	R	28	46,67	0,6	28,00
9	$F = (TRI + TER)/2$ em mm	0	0,00	$F = 0$	0
10	$FV = (TRIV + TREV)/2$	0	0,00	$FV = 0$	0
Número de estações inventariadas		60	IGI = $(F \times 4/3)$ quando $F \leq 30$		IGI = FV quando $FV \leq 50$
Índice de gravidade global		284	IGI = 40 quando $F > 30$		IGI = 50 quando $FV > 50$

Fonte: (DNIT 006/2003 – PRO) - Modificado pelo autor.

Com o valor do Índice de Gravidade Global calculado, que foi igual a 284, e utilizando o Quadro 2 e observando a Tabela 5 a qual relaciona os conceitos com intervalos do IGG, foi possível verificar que o valor encontrado para o trecho estudado se enquadra no limite de IGG > 160, sendo dessa forma classificado como de péssima qualidade.

Tal resultado deixa evidente a necessidade de um redimensionamento das camadas do pavimento, visto que uma intervenção moderada não surtiria efeito devido a tamanha deterioração da via.

8 RESULTADOS

Conforme as análises realizadas ao longo deste estudo, foi constatado que o pavimento já ultrapassou a sua vida útil, devido à degradação do revestimento ao longo do trecho.

Objetivando a restauração do pavimento com um menor custo de execução será proposto a troca do revestimento pelo processo de fresagem, seguido de uma segunda proposta de remoção e reconstrução total do pavimento que visa suportar o tráfego futuro determinado para os próximos 10 anos e a restauração da sua vida útil.

8.1 Contagem volumétrica de veículos

As contagens foram elaboradas em um período de 5 dias sequenciais e em um intervalo entre as 13:00 horas e 17:00 horas.

Depois de definido o volume de veículos no período descrito, foi feita uma média semanal com a subdivisão das classes de veículos extrapolando-se a média da semana do período de quatro horas para o período de vinte e quatro horas (um dia). Mesmo compreendendo que em certos horários do dia, o volume de veículos difere do período de contagem, mas a extrapolação dos dados subsidia a análise para fins de anteprojeto. Os Quadros 3 ao 8 demonstram os volumes médios diários finais de veículos na rodovia, em cada um dos cinco dias analisados.

Quadro 3- Contagem volumétrica de veículos (Segunda-feira).

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - BR 265 - KM425 ao KM 413					
CONTADOR: GABRIEL S. ALMEIDA			DATA: 18 DE MAIO DE 2020		SENTIDO
					(X)←
					(X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	165	25	9	61	16
14:00 - 15:00	123	14	2	54	7
15:00 - 16:00	146	9	13	33	11
16:00 - 17:00	115	11	7	79	24
TOTAL DE VEÍCULOS	549	59	31	227	58

Fonte: o autor.

Quadro 4 - Contagem volumétrica de veículos (Terça-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - BR 265 - KM425 ao KM 413					
CONTADOR: GABRIEL S. ALMEIDA			DATA: 19 DE MAIO DE 2020		SENTIDO
					(X)←
					(X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	184	13	15	75	13
14:00 - 15:00	131	9	4	43	22
15:00 - 16:00	98	6	6	51	14
16:00 - 17:00	159	18	10	39	17
TOTAL DE VEÍCULOS	572	46	35	208	66

Fonte: o autor.

Quadro 5 – Contagem volumétrica de veículos (Quarta-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - BR 265 - KM425 ao KM 413					
CONTADOR: GABRIEL S. ALMEIDA			DATA: 20 DE MAIO DE 2020		SENTIDO
					(X)←
					(X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	190	3	4	72	25
14:00 - 15:00	128	15	7	51	16
15:00 - 16:00	145	21	5	31	7
16:00 - 17:00	122	4	9	48	29
TOTAL DE VEÍCULOS	585	43	25	202	77

Fonte: o autor.

Quadro 6 – Contagem volumétrica de veículos (Quinta-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - BR 265 - KM425 ao KM 413					
CONTADOR: GABRIEL S. ALMEIDA			DATA: 21 DE MAIO DE 2020		SENTIDO
					(X)←
					(X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	104	13	9	45	28
14:00 - 15:00	158	8	4	69	16
15:00 - 16:00	97	26	7	43	9
16:00 - 17:00	114	5	2	51	24
TOTAL DE VEÍCULOS	473	52	22	208	77

Fonte: o autor.

Quadro 7 – Contagem volumétrica de veículos (Sexta-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - BR 265 - KM425 ao KM 413					
CONTADOR: GABRIEL S. ALMEIDA			DATA: 22 DE MAIO DE 2020		SENTIDO
					(X)←
					(X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO O TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	93	31	9	75	16
14:00 - 15:00	152	25	3	48	28
15:00 - 16:00	124	7	2	63	7
16:00 - 17:00	167	8	11	58	6
TOTAL DE VEÍCULOS	536	71	25	244	57

Fonte: o autor.

Quadro 8 – Extrapolação do Volume Hora para um dia (24 horas)

EXTRAPOLAÇÃO PARA 01 DIA (24 HORAS)					
CLASSE/DIA	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
SEGUNDA-FEIRA	549	59	31	227	58
TERÇA-FEIRA	572	46	35	208	66
QUARTA-FEIRA	585	43	25	202	77
QUINTA-FEIRA	473	52	22	208	77
SEXTA-FEIRA	536	71	25	244	57
MÉDIA DA SEMANA	543	54	28	218	67
EXTRAPOLAÇÃO PARA 01 DIA	3258	325	166	1307	402
% DA EXTRAPOLAÇÃO	59,70%	5,96%	3,03%	23,94%	7,37%

Fonte: o autor.

8.2 Determinação do número “N”

Definido o volume médio de veículos pesados que correspondem a 855 veículos por dia, que trafegam no trecho, classificou-se, de acordo com Instrução de Projetos 02/2004 (Classificação das vias) – Prefeitura do Município de São Paulo, se enquadrando em tráfego médio.

Figura 22 - Classificação da via

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,70 x 10 ⁴ a 1,40 x 10 ⁵	10 ⁵
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40x 10 ⁵ a 6,80x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 ⁶ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 ⁷ a 3,3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 ⁷ a 6,7 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 ⁶ (1)	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷

N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.

Notas:

(1) Majorado em função do tráfego (excesso de frenagem e partidas)

(2) Números de solicitações adotadas:

$$N = 365 \times 10 \times V_o \times 1,25 \times e = 4560.V_o.e$$

Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo (2004).

Utilizando o Quadro 9 de classificação das vias e parâmetros de tráfego da IP-02/2004 (SÃO PAULO, 2004) e com base no número de veículos pesados que trafegam no trecho, encontra-se em um “N” característico de 2×10^7 . Conforme explicado na mesma, tem-se:

$$N = 4560 \times 855 \times 5,90$$

$$N = 2,300 \times 10^7$$

Quadro 9 - Espessuras mínimas de revestimento

N	Espessuras Mínima de Revestimento Betuminoso
$10^6 \leq N$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$5 \times 10^7 \leq N$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Manual de estudo de tráfego do DNIT, (2006).

Seguindo os dados do Quadro 9 e correlacionando com o valor obtido no cálculo do número N, que foi encontrado através do método da Prefeitura de São Paulo, temos uma espessura mínima de: 10,0 cm de espessura de revestimento betuminoso.

Para efeitos de comparação a Figura 23 demonstra os registros fotográficos que mostram as espessuras do pavimento já executado no local. Tal ação foi possível graças ao alto grau de severidade das patologias.

Figura 23 - Espessura do Pavimento



Fonte: o autor.

Como mostrado nas imagens coletadas ao longo do trecho, o pavimento possui uma espessura média de 2 cm que se aplica a quase todo o trecho, o qual é insuficiente segundo os resultados obtido pelo estudo de tráfego e cálculo do número N. Mostrando assim a evidente e necessidade da realização de redimensionamento do pavimento.

8.3 Dimensionamento das Camadas do Pavimento

Para DNIT (2006) o dimensionamento de todo o pavimento deve se fazer uso do ábaco da Figura 24, onde é determina a espessura total do pavimento, em função do número N e de IS ou CBR, as espessuras fornecidas são em termos para materiais com $K = 1$, ou seja, base granular. Sempre se considera que exista drenagem superficial adequada e que o lençol freático esteja abaixo, no mínimo 1,50 metros em relação ao greide de regularização. As camadas citadas devem possuir no mínimo 15 cm de espessura, e as camadas de compactação não devem ultrapassar a espessura de 20 cm e nem possuir espessura inferior a 10 cm. A Figura 25 demonstra as camadas a serem dimensionadas.

Figura 24 – Ábaco para determinação de Espessuras do Pavimento Flexível

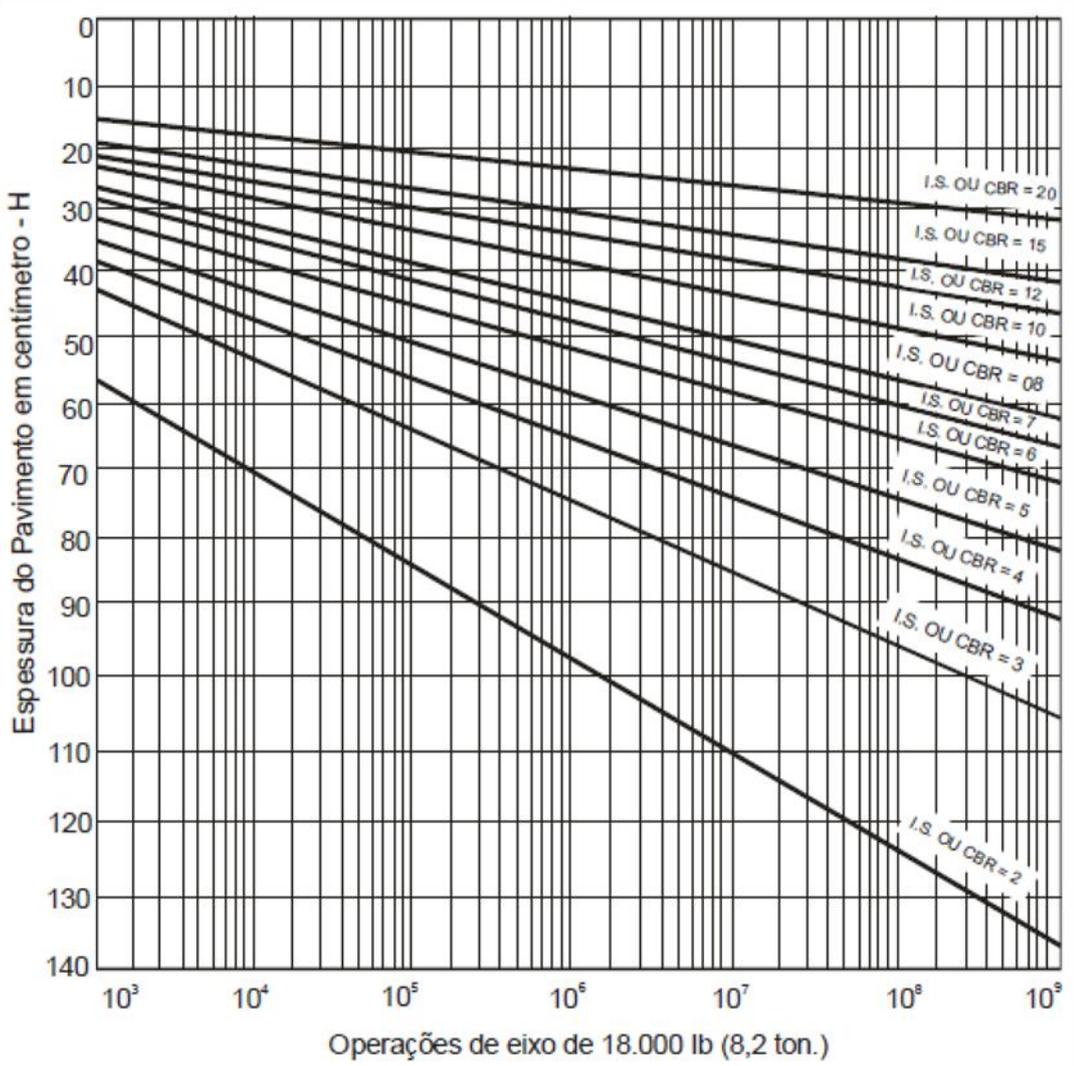


Figura 25 - Camadas para Dimensionamento do Pavimento.



IS = m

Fonte: DNIT (2006)

Ainda segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), após determinada as espessuras de H_m , H_n , H_{20} e R , as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas conforme a resolução das seguintes inequações:

- a) $RK_R+BK_B \geq H_{20}$
- b) $RK_R+BK_B+h_{20} K_s \geq H_n$
- c) $RK_R+BK_B+h_{20} K_s +h_n K_{Ref} \geq H_m$,

Segundo o DNIT(2006), não existem dados específicos para o dimensionamento do acostamento, ficando assim a sua espessura relacionada a da pista de rolamento, onde o mesmo pode ter sua espessura reduzida se assim for necessário, ou ainda, ter a estrutura diferente a da pista de rolamento já que apresenta uma carga solicitante menor.

Para Balbo (2007), o Coeficiente de equivalência estrutural de um material é um índice que indica uma relação empírica entre o número estrutural (SN) e a espessura da própria camada, sendo uma média da capacidade relativa do material para atuar como componente estrutural de dado pavimento, dissipando pressões sobre as camadas inferiores.

O DNIT (2006) define para o dimensionamento o coeficiente de equivalência estrutural, determinados para os seguintes tipos de materiais que constituem o pavimento, segundo a Tabela 7.

Tabela 7 - Coeficiente de equivalência estrutural.

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas Granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT (2006).

Nota: Pesquisas futuras podem justificar mudanças nestes coeficientes.

Os coeficientes estruturais são designados genericamente por:

- Revestimento: KR
- Base: KB
- Sub-base: KS
- Reforço: KRef

8.4 Dimensionamento do Pavimento Flexível

Em conformidade com o Manual de Pavimentação e o Manual de Estudos de Tráfegos do DNIT (2006), o dimensionamento das camadas e suas respectivas espessuras foram determinados seguindo seus conceitos e suas condições especificadas.

O pavimento foi dimensionado, considerando a vida útil de projeto para 10 anos, utilizando como base os valores calculados no Estudo de Tráfego, utilizando do valor do número N calculado, sendo este o número de solicitações que será empregado ao pavimento e seguindo as etapas mostradas abaixo:

8.5 Camadas do Pavimento

Para o dimensionamento das camadas foram usados os valores já citados do número “N” e os valores que fazem parte do cálculo do mesmo, foi adotado valores mínimos de CBR para a base e sub base como especifica o DNIT, 2006:

- Base = CBR <20%;
- Sub-base = CBR <80%.

Para o CBR do subleito, foi coletada uma amostra de solo argiloso que e o solo natural do trecho, entre os km 413 e 414, posteriormente foi realizado ensaio pela empresa PAVICAN, no qual se obteve um valor de 10,1%, como demonstra o Quadro 10.

Quadro 10 – Resultados ensaio do material do subleito

RESUMO DE ENSAIOS		
Data:	15/10/2020	
Obra:	AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS EM PAVIMENTO FLEXIVEL: Caso da BR-265 - km 425 à km 413 -Boa Esperança / Santana da Vargem	
Cliente:	Gabriel de Souza Almeida	
Tipo estudo:	SUB LEITO	
Próctor:	NORMAL	
PENEIRAMENTO		
PENEIRAS (POLEGADAS)		% PASSANDO
Granulometria % Passando	# 2"	100,0%
	# 1"	100,0%
	# 3/8"	99,2%
	# N° 4	99,0%
	# N° 10	98,7%
	# N° 40	92,6%
	# N° 200	75,7%
CLASSIFICAÇÃO GRANULOMETRICA		
	L.L.	53,9%
	I.P.	16,8%
	I.G.	13,5
	Classif. T.R.B.	A-7-5
	% Retido # 4	0,0%
	Pedregulho : Acima 4,8 mm	1,0
	Areia Grossa : Acima 4,8 - 2,0	0,3
	Areia Média : 2,0 - 0,42 mm	6,1
	Areia Fina : N° 40 - 200	16,9
	Passando N° 200	75,7
	Total	100,0
	Retido : N° 10 - 200	23,0
12 NORMAL	Dens. Máx Laboratório	1.462
	Umid. Ótima Laboratório	24,1
	C.B.R.	10,1%
	Expansão	0,40
RESUMO DA COMPOSIÇÃO DA MISTURA DOS AGREGADOS		
% DE PROJETO DE ARGILA		100%
<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/> LABORATORISTA		

Fonte: PAVICAN (2020).

8.5.1 Espessuras das camadas do Pavimento

Espessura total, calculado conforme equação demonstrada na Figura 24.

$$H_t = 77,67 \times (2,30 \times 10^7)^{0,0482} \times 10,1^{-0,598} \quad \text{Equação 5 – Espessura Total}$$

$$H_t = 44,11 \text{ cm}$$

Adotado 45 cm.

Coefficientes adotados conforme Tabela 7.

- Revestimento em concreto betuminoso: $K = 2,00$
- Base granular: $K = 1,0$
- Sub-base granular: $K = 1,0$ CBR do subleito = 10,1%

As espessuras H_m , H_n , e H_{20} são obtidas conforme define o DNIT (2006) as camadas do pavimento devem se dimensionadas através do ábaco, onde os índices de suporte do subleito são levados em consideração para obter as espessuras mínimas para os cálculos, os resultados obtidos pelo ábaco são em função da equação apresentada na Figura 25.

Espessura de Base

$$RK_R \times BK_B \geq H_{20}$$

$$(10 \times 2) + (B \times 1) \geq 29,31 \quad \text{Equação 6 – Espessura de Base}$$

$$B = 9,31 \text{ cm}$$

Adotado 15 cm.

Material: Brita Graduada Simples - BGS com espessura de 15,0 cm.

Espessura de Sub-Base

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S \geq H_n$$

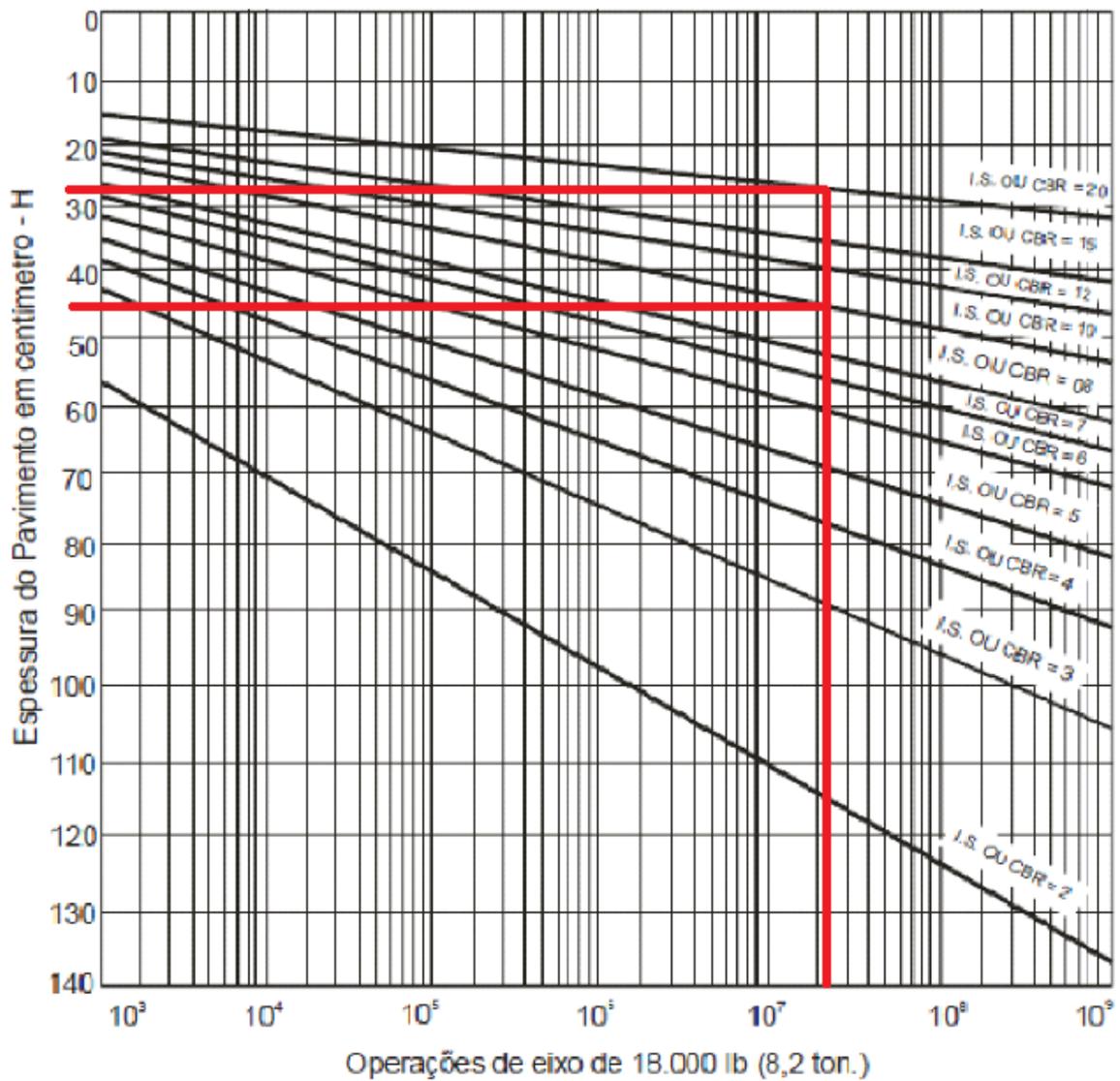
$$(10 \times 2) + (15 \times 1) + (h_{20} \times 1) \geq 44,11 \quad \text{Equação 7 – Espessura Sub-Base}$$

$$h_{20} = 9,11 \text{ cm}$$

Adotado 15 cm.

Material: Bica corrida com espessura de 15,0 cm.

Figura 26 - Ábaco para determinação de Espessuras do Pavimento Flexível

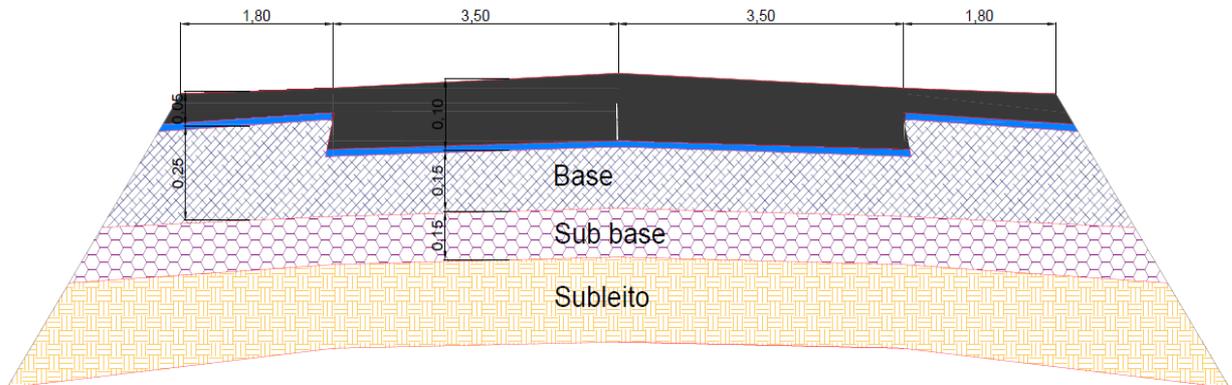


Fonte: DNIT (2006) - Modificado pelo autor.

- > $H_{20} = 29,31$ cm
- > $H_{10} = 44,11$ cm

Concluído o dimensionamento, foi realizado a representação da seção transversal do pavimento, conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 - Seção Tipo do Pavimento Dimensionado em centímetros.



Fonte: o autor.

8.6 Estudo de viabilidade técnica econômica

Dimensionado a seção transversal do pavimento, serão apresentadas duas propostas para a solução dos problemas da via. Para a elaboração dos orçamentos foram considerados os valores de execução disponibilizado pelo DNIT e também a tabela do Sistema de Custos Rodoviário (SICRO) e os valores aplicados pelas empresas do ramo. Para ambos os casos será adotado um valor de 24,23% para o BDI, que é o máximo limite proposto pelo Acórdão 2622/13 do Tribunal de Contas da União (TCU).

Como uma primeira opção mais viável economicamente e com um menor tempo de execução, foi proposto a remoção do revestimento já existente abordando o processo de fresagem, tendo em vista a aplicação de um novo pavimento com a espessura já dimensionada através do cálculo do número “N”, no qual obteve se um valor de 10 cm de CBUQ.

A segunda proposta, tendo em vista o dimensionamento do pavimento para um período de 10 anos, propõe a reconstrução de toda a estrutura do pavimento até a sua camada de subleito afim de restaurar a sua vida útil e garantir seu nível de serventia para o trafego futuro, que tende a reduzir potenciais avarias ao longo do mesmo. Para essa opção foram estimados os elementos de drenagem, pois eles podem apresentar avarias durante todo o processo de restauração. Os Quadros 11 e 12 abaixo apresentam os custos e os prazos de execução estimado das propostas apresentas.

Quadro 11 – Planilha de Custo de Remoção e Aplicação do Revestimento

ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE	UN	VALOR UN	VALOR TOTAL
1	SERVIÇOS INICIAIS				
1.1	Serviços iniciais				
1.1.1	Serviços iniciais, Placas de Obra - DER/MG, Canteiro / Área de Vivência / Escritório, Sinalização Provisória, Uniformes.	1	vb	136.164,77	136.164,77
2	PAVIMENTO				
2.1	Fresagem				
2.1.1	Fresa	3.816,00	m ³	37,24	142.107,84
2.1.2	Pintura de ligação RR1C	127.200,00	m ²	0,14	17.808,00
2.1.3	Capa em CBUQ Faixa C 0,10 m	24.710,42	tn	117,02	2.891.613,35
2.1.4	Transporte de material fresado, DMT=1km	10.560,00	m ³	10,61	112.041,60
3	SINALIZAÇÃO				
3.1	Sinalização Horizontal / Vertical				
3.1.1	Sinalização	1	vb	381.097,50	381.097,50
				Valor de Custo Total Estimado	3.680.833,06
				BDI	24,23%
				Valor total Estimado com BDI	4.572.698,91
				Tempo Estimado de Execução em Dias Trabalhados	46

Fonte: o autor (2020)

Quadro 12 – Planilha de Custos para Reconstrução da estrutura do Pavimento

ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE	UN	VALOR UN	VALOR TOTAL
1	SERVIÇOS INICIAIS				
1.1	Serviços iniciais, Placas de Obra - DER/MG, Canteiro / Área de Vivência / Escritório, Sinalização Provisória, Uniformes.	1	vb	136.164,77	136.164,77
2	DEMOLIÇÃO DO PAVIMENTO				
2.1	Remoção do Pavimento	3.816,00	m ³	6,8	25.948,80
2.2	Escavação, carga e transporte	38.160,00	m ³	10,61	404.877,60
2.3	Espalhamento do Bota Fora	41.976,00	m ³	1,32	55.408,32
3	DRENAGEM				
3.1	Drenagem Superficial				
3.1.1	Sarjeta STC	24000,00	m	41,53	996.720,00
4	PAVIMENTAÇÃO				
4.1	Pista de Rolamento				
4.1.2	Sub base (solo brita) 0,15 m	12.600,00	m ³	36,93	465.318,00
4.1.3	Base (brita graduada simples) 0,15 m	12.600,00	m ³	113,95	1.435.770,00
4.1.4	Imprimação CM30	84.000,00	m ²	0,19	15.960,00
4.1.5	Pintura de ligação RR1C	84.000,00	m ²	0,14	11.760,00
4.1.6	Revestimento CBUQ Faixa C 0,10 m	19.656,02	t	117,02	2.300.147,46
4.2	Acostamento				
4.2.2	Sub-base (solo brita) 0,15 m	6.480,00	m ³	36,93	239.306,40
4.2.3	Base (brita graduada simples) 0,25 m	10.800,00	m ³	113,95	1.230.660,00
4.2.4	Imprimação CM30	43.200,00	m ²	0,19	8.208,00
4.2.5	Pintura de ligação RR1C	43.200,00	m ²	0,14	6.048,00
4.2.6	Revestimento CBUQ Faixa C 0,05 m	5.054,40	t	117,02	591.465,89
5	SINALIZAÇÃO				
5.1	Sinalização Horizontal / Vertical				
5.1.1	Sinalização	1	vb	381.097,50	381.097,50
				Valor de Custo Total Estimado	8.304.860,74
				BDI	24,23%
				Valor total Estimado com BDI	10.317.128,50
				Tempo Estimado de Execução em Dias Trabalhados	136

Fonte: o autor (2020)

Em comparação, a proposta que se mostrou mais viável economicamente e com um prazo de execução menor foi a de remoção do pavimento por fresagem, tendo uma diferença de orçamento de 5.432.430,22 reais e um prazo de execução com 90 dias a menos que a segunda

proposta, mas essa opção se mostra se viável somente quando comparada ao tráfego atual não suportando uma projeção de tráfego de 10 anos, solucionando os problemas apenas temporariamente, uma vez que o processo não restaurara a qualidade da estrutura do pavimento, o qual poderá entrar em colapso em um curto espaço de tempo visto que o mesmo já apresenta sinais de instabilidade devida a severidade das patologias diagnosticadas no trecho.

9 CONCLUSÃO

Em conformidade com as análises realizadas ao longo deste estudo, foi constatado que o pavimento já ultrapassou a sua vida útil, devido a degradação do revestimento ao longo do trecho, mostrando a carência de restauração e conservação que o trecho sofre, onde o mesmo apresentou um valor de Índice de Gravidade Global (IGG) de 284, valor este consideravelmente elevado, o qual classifica o pavimento com conceito de péssimo. Vale ressaltar que este valor pode ser estendido para boa parte da rodovia, não deixando de fora o fato de que este trecho foi restaurado através do processo de tapa buracos a poucos dias da análise feita por este trabalho, e ainda durante a realização do mesmo os lugares antes revitalizados já estavam deteriorados, afirmando assim que houve falhas severas na realização do mesmo.

Desta forma, considerando também os dados obtido através do cálculo do número “N”, e comparando com o pavimento já existente no trecho, verificou-se que o mesmo não atendia a espessura mínima de 10 centímetros dimensionada para aquele local, evidenciando assim mais um fator contribuinte para o surgimento das patologias.

Tendo em vista que o pavimento apresentou um índice elevado de deterioração e que a primeira proposta de solução apenas retardaria o processo de degradação do trecho além de causar maior transtorno aos usuários da via uma vez que ao se considerar esse processo comparado a demolição e reconstrução, o mesmo deverá ser executado um maior número de vezes durante os 10 anos de projeção de tráfego futuro, onde o mesmo se iguala ou superara o valor de execução da restauração total do pavimento além de causar a interrupção do tráfego no trecho toda a vez que for necessário refazer o processo.

Considerando os parâmetros apresentados e também que o pavimento já demonstra sinais de colapso da sua estrutura, com objetivo de suportar o dimensionamento do tráfego futuro com previsão de 10 anos e trazer a segurança e conforto aos usuários da via, será proposto como solução para a restauração total do trecho a segunda proposta, que, consiste no processo

de demolição do pavimento até sua camada do subleito, executando uma camada de sub-base com 15 cm de bica corrida, base com 15 cm de BGS e revestimento em CBUQ faixa C DNIT com 10 cm de espessura, com um custo previsto de 10.317.128,50 reais e tempo de execução igual a 136 dias.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração**. Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros**. Rio de Janeiro: PET ROBRAS: ABEDA, 2006.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa Rodoviária**, 2007.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT Rodoviária**, 2017.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial**. 20. Ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2018.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”**. DNER-ME 035/95. 1995.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Agregados – análise granulométrica**. DNER-ME 083/98.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**. DNER-ME 043/95. 1995.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia DNIT 005/2003 - TER**. Rio de Janeiro, 2003.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento NORMA DNIT 006/2003 - PRO**. Rio de Janeiro, 2003.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos - Procedimento NORMA DNIT 007/2003 - PRO**. Rio de Janeiro, 2003.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento NORMA DNIT 009/2003 - PRO**. Rio de Janeiro, 2003.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço NORMA DNIT 031/2006**. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTUTURA DE TRANSPORTES **Manual de Conservação Rodoviária**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTUTURA DE TRANSPORTES **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES **Manual de Pavimentação**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Ministério dos Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Rodoviários** - Publicação IPR-720, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Ministério dos Transportes. **Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas** - Método de Ensaio. Publicação 172/2016, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES; Ministério dos Transportes. **Pavimentação Asfáltica – Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando o compactador giratório Superpave ou o Marshall** - Procedimento, Publicação 178/2018 – PRO, 2018.

DOMINGUES, F. A. A. **MID – Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos asfálticos de Pavimentos**. São Paulo: [s. n.], 1993

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

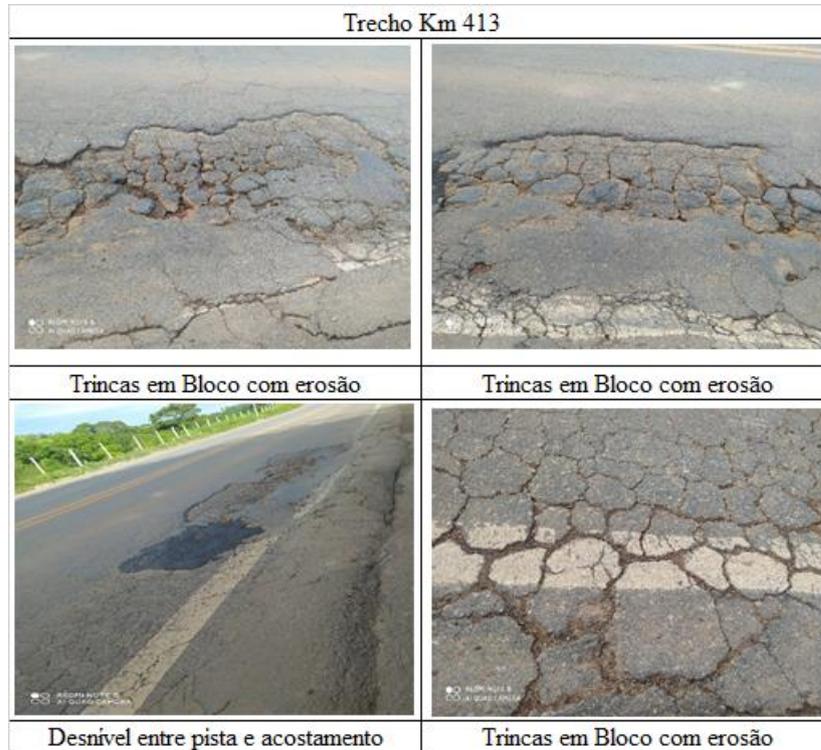
PINTO, S; PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: Synergia IBP, 2010.

RODRIGUES, R. M. **Estudo do trincamento dos pavimentos**. 2005. 308 f. Tese de Doutorado em Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

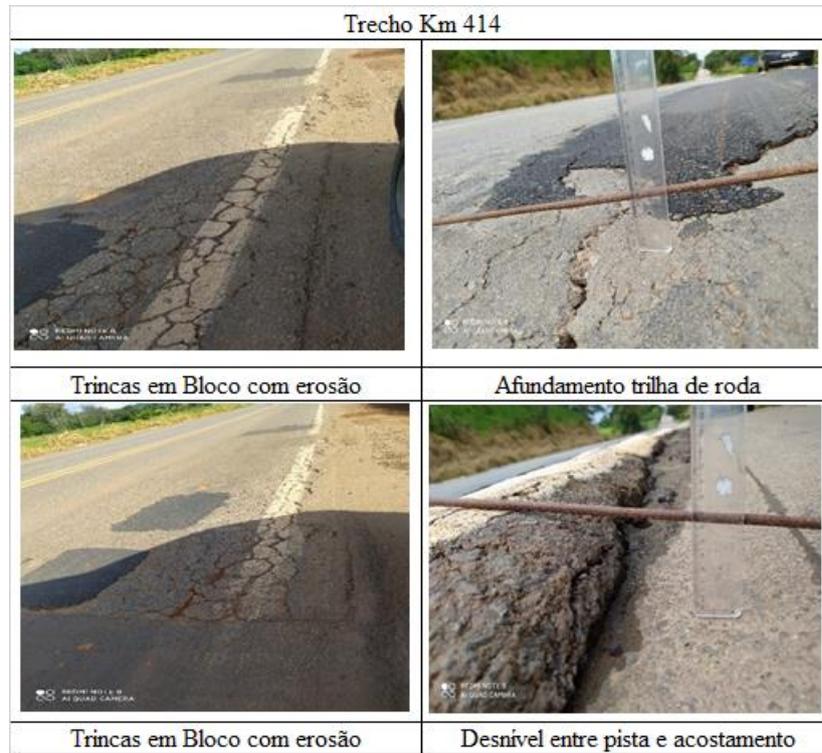
SÃO PAULO (Cidade). Secretaria de Infraestrutura Urbana. **IP-02/2004 – Classificação das Vias**, 2004.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, P. F. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**, 2 ed. São Paulo: Pini, 2008.

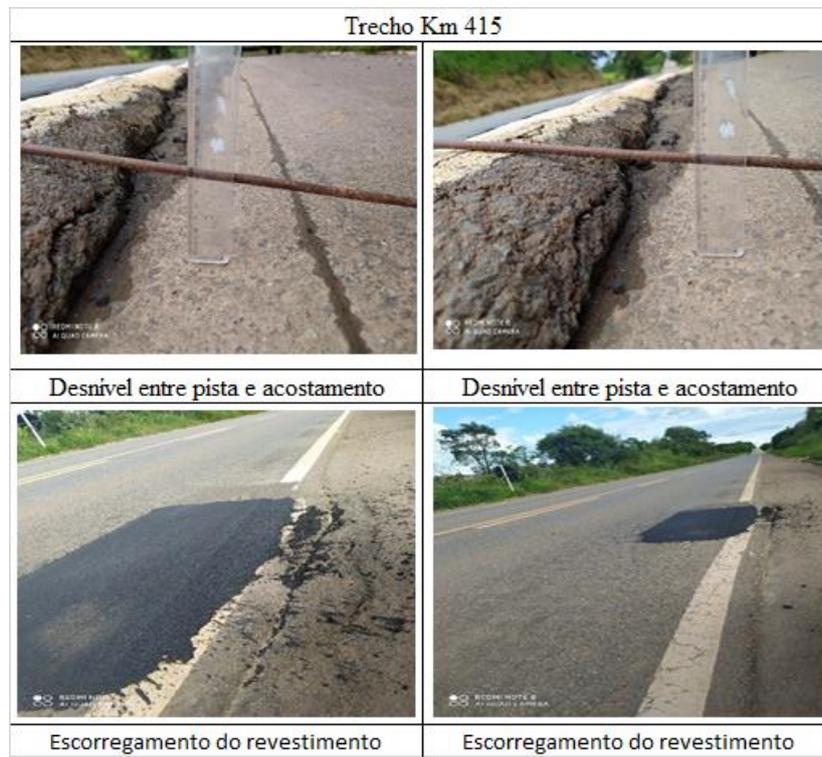
APÊNDICES**Apêndice A – Subtrecho de 0 Km a 1 Km**

Fonte: o autor.

Apêndice B - Subtrecho de 1 Km a 2 Km

Fonte: o autor.

Apêndice C - Subtrecho de 2 Km a 3 Km



Fonte: o autor.

Apêndice D - Subtrecho de 3 Km a 4 Km

Fonte: o autor.

Apêndice E - Subtrecho de 4 Km a 5 Km

Trecho Km 417	
	
Panela com grau de severidade alto	Desnível entre pista e acostamento
	
Remendo mal executado	Desnível entre pista e acostamento

Fonte: o autor.

Apêndice F - Subtrecho de 5 Km a 6 Km

Fonte: o autor.

Apêndice G - Subtrecho de 6 Km a 7 Km

Trecho Km 419	
	
Remendo mal executado	Escorregamento do revestimento
	
Escorregamento do revestimento	Escorregamento do revestimento

Fonte: o autor.

Apêndice H - Subtrecho de 7 Km a 8 Km

Trecho Km 420	
	
Panela com grau de severidade alto	Desnível entre pista e acostamento
	

Fonte: o autor.

Apêndice I - Subtrecho de 8 Km a 9 Km

Trecho Km 421	
	
Trincas em Bloco com erosão	Trincas em Bloco com erosão
	
Escorregamento do revestimento	Panela com grau de severidade alto

Fonte: o autor.

Apêndice J - Subtrecho de 9 Km a 10 Km

Trecho Km 422	
	
Escorregamento do revestimento	Afundamento trilha de roda
	
Desgaste	Tricas couro de jacare

Fonte: o autor.

Apêndice K - Subtrecho de 10 Km a 11 Km

Trecho Km 423	
	
Afundamento trilha de roda	Afundamento trilha de roda
	
Desnível entre pista e acostamento	Trincas em Bloco com erosão

Fonte: o autor.

Apêndice L - Subtrecho de 11 Km a 12 Km

Trecho Km 424	
	
Tricas couro de jacare	Remendo mal executado
	
Escorregamento do revestimento	Desnível entre pista e acostamento

Fonte: o autor.

Apêndice M - Subtrecho de 12 Km a 13 Km

Trecho Km 425	
	
Trincas em Bloco com erosão	Desnível entre pista e acostamento
	
Panela com grau de severidade alto	Panela com grau de severidade alto

Fonte: o autor.

