

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**SAMUEL SILVA MORAES**

**AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DO  
TRECHO DA BR-491 - MONTE BELO / AREADO – MG:  
PROPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DE ADEQUAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.**

**Varginha**

**2017**

**SAMUEL SILVA MORAES**

**AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DO  
TRECHO DA BR-491 - MONTE BELO / AREADO – MG:  
PROPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DE ADEQUAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.**

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. Me. Luana Bernadete Dariva.

Varginha  
2017

**SAMUEL SILVA MORAES**

**AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DAS PATOLOGIAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DO  
TRECHO DA BR-491 - MONTE BELO / AREADO – MG: PROPOSIÇÃO DA  
SOLUÇÃO DE ADEQUAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.**

Monografia apresentada 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:  
Orientador: Prof. Me. Luana Bernadete Dariva.

Aprovada em     /     /

---

Prof. Me. Luana Bernadete Dariva

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por abençoar e por dar forças ao longo desta jornada, a minha família por todo apoio, a minha namorada Tatiane, pelo carinho e compreensão e seus familiares, por toda a colaboração, a professora Luana pelas orientações e auxílio, a todos os professores que contribuíram repassando o seu conhecimento, aos amigos conquistados durante este período, a empresa Pavican pelo apoio e a todos que contribuíram para esta conquista.

“A persistência é o caminho do êxito.”  
Charles Chaplin

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo de demonstrar as condições de um trecho em pavimento flexível na rodovia BR – 491, o estudo proposto se inicia no Km 138 seguindo até o Km 149,9 entre os municípios de Monte Belo/MG e Areado/MG, demonstrando os tipos de patologias existentes, a falta de conservação e os defeitos que causaram problemas do pavimento asfáltico devido às cargas provenientes do tráfego de veículos, conseqüentemente analisando as características do revestimento asfáltico aplicado no trecho proposto atribuindo valor a este segmento de acordo com o método de análise do Valor de Serventia Atual e complementando o estudo com ensaio de extração de betume e de granulometria do revestimento atual em acordo com as normas específicas, propondo uma solução técnica para adequação deste trecho.

**Palavras-chave:** Patologia, Valor de Serventia Atual, Asfalto, Pavimento Flexível.

## **ABSTRACT**

*The objective of this work is to demonstrate how conditions of a stretch in flexible pavement on the BR - 491 highway, the proposed study starts at Km 138, following to Km 149,9 between Monte Belo / MG and Areado / MG, showing The types of existing pathologies, the lack of conservation and the defects that caused problems of the asphalt pavement due to the vehicular traffic transport parts, consequently analyzing as characteristics of the applied asphalt coating without proposed stretch assigning value to this segment according to the method Of Current Service Value Analysis and complement the study with bitumen extraction and granulometry of the current coating in accordance with the specific standards, proposing a technical solution to adapt this section.*

**Keywords:** *Pathology, Current Usage Value, Asphalt, Flexible Pavement.*

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Quadro de Resumo das Patologias por segmentação nível severidade e serventia da Rodovia BR-491.....	78
Apêndice B - Ficha de VSA - Km 138 à Km 139.....	81
Apêndice C - Ficha de VSA - Km 139 à Km 140.....	82
Apêndice D - Ficha de VSA - Km 140 à Km 141.....	83
Apêndice E - Ficha de VSA - Km 141 à Km 142.....	84
Apêndice F - Ficha de VSA - Km 142 à Km 143.....	85
Apêndice G - Ficha de VSA - Km 143 à Km 144.....	86
Apêndice H - Ficha de VSA - Km 144 à Km 145.....	87
Apêndice I - Ficha de VSA - Km 145 à Km 146.....	88
Apêndice J - Ficha de VSA - Km 146 à Km 147.....	89
Apêndice K - Ficha de VSA - Km 147 à Km 148.....	90
Apêndice L - Ficha de VSA - Km 148 à Km 149.....	91
Apêndice M - Ficha de VSA - Km 149 à Km 149,9.....	92
Apêndice N - Composição de Custos Fresagem e Revestimento e em CBUQ.....	93
Apêndice O - Composição de Custos Demolição do Pavimento.....	95
Apêndice P - Composição de Custos Pavimentação.....	96
Apêndice Q - Composição de Custos Pavimentação - Acostamento.....	99

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Valor de Serventia Atual.....	39
Equação 2 - Frequência Relativa.....	41
Equação 3 - Índice de Gravidade Individual.....	41
Equação 4 - Média e Variância das flechas medidas.....	42
Equação 5 - Índice de Gravidade Global (IGG).....	42
Equação 6 - Volume Médio do Tráfego em um Sentido.....	44
Equação 7 - Volume de Tráfego Anual para um Sentido.....	45
Equação 8 - Número N.....	45
Equação 9 - Fator de Veículo.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas Genéricas de um pavimento. ....	19
Figura 2 - Distribuição das cargas aplicadas em Pavimento Rígido e Flexível. ....	20
Figura 3 - Fendas. ....	26
Figura 4 - Trincas transversais. ....	28
Figura 5 - Trincas Longitudinais. ....	29
Figura 6 - Trincas Isoladas de Retração. ....	30
Figura 7 - Trincas em Bloco. ....	30
Figura 8 - Afundamento na trilha de roda. ....	31
Figura 9 - Ondulação / Corrugação. ....	32
Figura 10 - Escorregamento do Revestimento. ....	32
Figura 11 - Exsudação. ....	33
Figura 12 - Desgaste do Pavimento Flexível. ....	34
Figura 13 - Panela e Panela atingindo a base. ....	34
Figura 14 - Remendo bem executado. ....	35
Figura 15 - Desnível entre a pista e acostamento. ....	36
Figura 16 - Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via. ....	38
Figura 17 - Treliça para medição das trilhas de roda. ....	40
Figura 18 - Fatores de Equivalência de Operação. ....	46
Figura 19 - Camadas para Dimensionamento do Pavimento. ....	47
Figura 20 – Ábaco para Determinação de Espessuras do Pavimento Flexível. ....	49
Figura 21 - Imagem aérea Rodovia MG-491 - Km 138 à Km 149,9. ....	51
Figura 22 - Início do trecho em estudo. ....	52
Figura 23 - Final do trecho em estudo. ....	52
Figura 24 - Panela com nível de severidade alto – Km 147/km148. ....	55
Figura 25 - Procedimento 1 - Ensaio da Extração de Betume em CBUQ. ....	57
Figura 26 - Procedimento 2 - Ensaio da Extração de Betume em CBUQ. ....	58
Figura 27 - Determinação de H <sub>20</sub> , H <sub>15</sub> e H <sub>9</sub> . ....	67
Figura 28 - Seção Tipo do Pavimento Dimensionado. ....	69

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Granulometria - Faixa C DNIT – Amostra 1. ....	59
Gráfico 2 - Granulometria Faixa C DNIT – Amostra 2. ....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos defeitos – Codificação e Classificação (Norma DNIT 005/2003 - TER) .....	27
Quadro 2 - Resultados do Ensaio de CBR.....	61
Quadro 3 - Planilha de Custos Remoção e Aplicação do Revestimento. ....	70
Quadro 4 - Resumo Equipamentos e Serviços considerados. ....	70
Quadro 5 - Planilha de Custos Demolição do Pavimento e Pavimentação. ....	71
Quadro 6 - Resumo Equipamentos e Serviços considerados. ....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do transporte rodoviário.....	18
Tabela 2 - Especificações para Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) - Classificação por penetração.....	23
Tabela 3 - Espessuras e teor de Asfalto recomendadas para concretos asfálticos.....	24
Tabela 4 - Composição Concreto Asfáltico.....	25
Tabela 5 - Valores Limites para o Concreto Asfáltico. ....	25
Tabela 6 - Níveis de Serventia.....	38
Tabela 7 - Valor do Fator de Ponderação. ....	41
Tabela 8 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG .....	43
Tabela 9- Granulometria para base granular. ....	44
Tabela 10 - Percentuais de Veículos Comerciais na Faixa de Projeto. ....	45
Tabela 11 - Coeficiente de equivalência estrutural. ....	48
Tabela 12 - Espessura Mínima do Revestimento Betuminoso.....	49
Tabela 13 – Ficha VSA - Km 143 à Km 144. ....	54
Tabela 14 - Valor de Serventia Atual Médio BR-491 – Km 138 a 149,90. ....	56
Tabela 15 - Extração do Teor de Betume. ....	57
Tabela 16 - Granulometria após extração do Betume – Amostra 1.....	59
Tabela 17 - Granulometria após extração do Betume – Amostra 2.....	60
Tabela 18 - Volume Diário Anual da BR-491 entre os Km 138 a 149,9. ....	63
Tabela 19 - Projeção do VMDA.....	64
Tabela 20 - Fator de Veículo .....	65
Tabela 21 - Cálculo do Número N .....	66

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE APÊNDICES .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>13</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Pavimento .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Pavimento Flexível.....	20
3.1.2 Mistura Asfáltica .....	22
3.1.3 Tipos de Patologia do Pavimento Flexível .....	26
3.1.4 Métodos de Ensaios e Especificação de Serviços .....	36
3.1.5 Avaliação do Pavimento .....	37
3.1.6 Dimensionamento do Pavimento Flexível.....	43
3.1.7 Número “N”.....	44
3.1.8 Dimensionamento das Camadas do Pavimento.....	47
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>51</b>
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>6.1 Estudos de tráfego.....</b>	<b>63</b>
<b>6.2 Dimensionamento do Pavimento Flexível.....</b>	<b>65</b>
<b>6.3 Orçamentos .....</b>	<b>69</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>73</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
<b>9 APÊNDICES .....</b>	<b>78</b>
<b>10 ANEXOS.....</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A concepção de qualidade em pavimentos flexíveis não abrange apenas conforto e segurança de seus usuários, inclui também a eficiência econômica, que gradativamente adquire mais relevância no cenário rodoviário do Brasil, tendo em vista sua ampla utilização no transporte de bens e pessoas.

Em pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte no Brasil (CNT) em 2016, demonstra que atualmente a malha rodoviária no país tem a extensão total de aproximadamente 1.720.756 km, sendo apenas 12,3% pavimentadas, ou seja, 211.653 km, os quais foram classificados por amostragem de acordo com o estado de conservação de seu pavimento. Onde foram consideradas 2,6 % em ótimo estado, 9,9% em bom estado, 35,8% regular, 7,2% como ruim e por fim 44,5% com péssimo estado de seu pavimento.

Considerando a baixa qualidade das rodovias no Brasil e a falta de investimentos no setor, os custos operacionais tendem a elevar, juntamente com o aumento de ocorrência de acidentes, o desempenho dos veículos e a qualidade dos serviços reduz de forma drástica, causando também prejuízos ao usuário e até mesmo impactos ao meio ambiente.

Em rodovias, devido à intensidade do tráfego de veículos, excesso de carga, acidentes, falhas de execução, intempéries, tempo de utilização, falta de manutenção, entre outros fatores, surgem patologias no pavimento, responsáveis por diminuir o nível de serviço da rodovia, reduzir a sensação de segurança e o conforto, reduzir a eficiência econômica elevando os custos operacionais e potencializa a ocorrência de acidentes.

Conseqüentemente, são necessárias constantes avaliações no pavimento, visando indicar o quanto o nível de serviço está comprometido, o quanto as patologias comprometem a segurança, o conforto, se os custos operacionais estão sendo prejudicados, como esses defeitos deverão ser reparados, os custos condizentes para a manutenção, quais são as prioridades e quais decisões devem ser tomadas.

Os defeitos que são surgem no decorrer da vida útil do pavimento flexível podem ser avaliados de forma objetiva ou subjetiva, no entanto, para uma avaliação adequada é necessário a classificação coerente seguindo parâmetros estabelecidos. A análise crítica destas patologias é essencial, detectar e identificar o tipo, severidade, extensão e suas possíveis causas, para assim tomar as decisões adequadas para a reparação.

Tendo em vista estas adversidades, este estudo propende a analisar criticamente um trecho determinado em uma rodovia estadual que apresenta ampla diversidade de defeitos que comprometem as condições de segurança, conforto e serviço, com base em análise subjetiva

contida em procedimento elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), aspirando identificar, classificar, inventariar as patologias superficiais do revestimento asfáltico e atribuir valores para o nível de serviço do trecho, classificando-o de acordo com suas condições atuais.

Portanto, este trabalho tem como objetivo a identificação e classificação das patologias existentes, visando avaliar o nível de serventia do trecho conforme os resultados obtidos, propor adequações para a reparação e restauração do pavimento asfáltico devido à crítica situação atual da rodovia.

## 2 OBJETIVO

Avaliar o nível de serventia atual de um trecho rodoviário de pavimento flexível, assim como a análise de suas patologias, local de estudo situado na BR-491, entre os quilômetros Km-138 e Km 149,9, aproximadamente, entre as intersecções dos acessos da Usina Monte Alegre e Rodovia MG-184, entre as cidades de Monte Belo/MG e Areado/MG, com o intuito de verificar de forma subjetiva a degradação do pavimento proveniente dos esforços aplicados resultantes do fluxo de veículos, visando averiguar as características do asfalto existente, inventariar e diagnosticar as patologias encontradas e indicar soluções adequadas para o trecho em estudo.

### 2.1 Objetivos Específicos

- Delimitar um trecho rodoviário para estudo;
- Identificar sobre o trecho os pontos mais críticos na estrutura do pavimento flexível, por meio visual e registrar por fotografias;
- Investigar as causas dos problemas apontados em campo, por análise visual e coleta de material para análise através de ensaios;
- Realizar ensaios de extração de betume do material coletado, conforme norma DNER ME 053/094;
- Realizar ensaio de Granulometria do material coletado, conforme faixa C DNIT ES 031/2006;
- Determinação dos Valores de Serventia Atual (VSA) atual da Rodovia;
- Com os resultados obtidos, confrontar com as especificações de projeto, das especificações solicitadas em normas técnicas e Manuais do DER/DNIT.
- Redimensionamento do Pavimento e propor soluções para a adequação.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo RODRIGUES (2005), o transporte rodoviário é um dos modais acessíveis, dependendo apenas da existência de rodovias ou estradas trafegáveis. Este modal é recomendado para curtas e médias distâncias e transporte de mercadorias, de maior valor agregado. O maior benefício deste tipo de transporte é permitir a implantação de rotas flexíveis, sendo ele um importante modal na realização das atividades.

Para RODRIGUES (2005), as principais vantagens e desvantagens do transporte rodoviário estão citadas na tabela 01:

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do transporte rodoviário.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
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).

Segundo RAMALHO (2009), o sistema de transporte é de suma importância para a economia de um país, pois um produto chegaria com grandes dificuldades ou poderia até não chegar ao seu destino final, as indústrias não funcionariam, uma vez que não haveria acesso à matéria prima, e conseqüentemente, não possuiriam condições de escoar sua produção, inviabilizando assim quaisquer seguimentos.

De acordo com a CNT (2007), a matriz de transporte tem como seu principal modal o transporte rodoviário, devido a vários fatores, sendo alguns deles, cultural, o baixo investimento, quando comparado com outros tipos de modais, devido a sua flexibilidade e pelo fato que o mesmo é o mais indicado para a mobilidade urbana possibilitando a interligação entre outros tipos de modais. O modal rodoviário tem a maior expressividade no Brasil e abrange praticamente todos os pontos do território brasileiro.

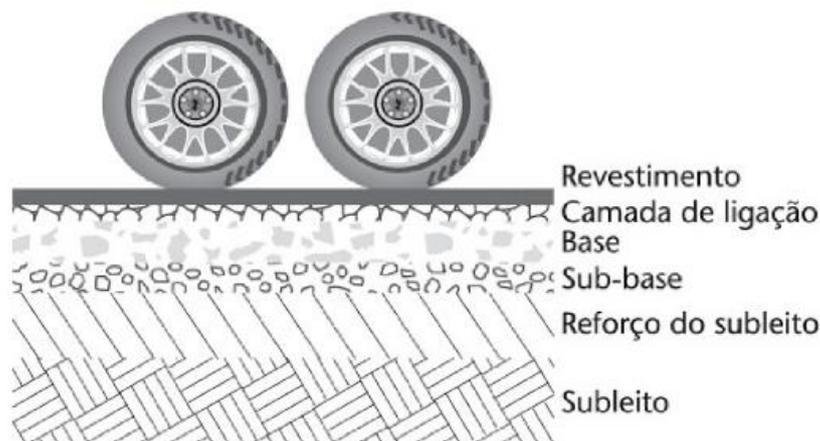
Ainda para a CNT (2007), pelas características do território nacional e a necessidade de seu desenvolvimento econômico, é de grande importante para o país a conservação e ampliação de sua malha rodoviária, para garantir o aumento do nível de serviço do transporte, redução de índices de acidentes e, conseqüentemente, reduzir os custos em geral.

### 3.1 Pavimento

O pavimento é responsável por receber e distribuir as cargas recebidas pelos veículos que transitam sobre ele, dando plenas condições ao tráfego e em condições seguras. O sistema de pavimentação é formado basicamente por quatro camadas principais: subleito, sub-base, base e revestimento.

BALBO (2007) descreve que o pavimento como 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 de reabilitação, obrigatórios. Na figura 01, abaixo, podemos visualizar estas camadas em sua respectiva ordem de execução.

Figura 1 - Camadas Genéricas de um pavimento.

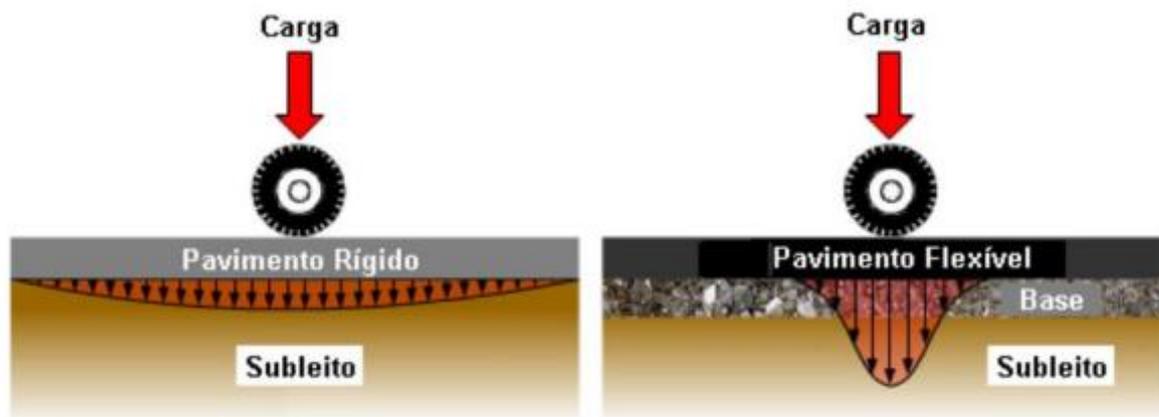


Fonte: BALBO (2007).

De acordo com SANTANA (1993), tem se como conceito de pavimento a construção de uma estrutura constituída basicamente por camadas sobre a superfície de um local contemplando os serviços de terraplenagem, tendo como principal função estabelecer ao usuário conforto segurança durante o percurso estabelecido, estes parâmetros devem ser obtidos conforme os requisitos da engenharia, visando máxima qualidade e custo reduzido.

A classificação do pavimento rodoviário, segundo BERNUCCI (2006) pode ser dividida em basicamente dois tipos: pavimentos rígidos e flexíveis. Atualmente as nomenclaturas usuais são de pavimentos de concreto de Cimento Portland e Pavimentos Asfálticos, respectivamente, indicando a classe do pavimento. A figura 02 exemplifica como é a distribuição dos esforços aplicados em estruturas de pavimento rígido e pavimento flexível.

Figura 2 - Distribuição das cargas aplicadas em Pavimento Rígido e Flexível.



Fonte: BALBO (2007).

Conforme explanado por DNIT (2006), a classificação dos tipos de pavimento pode ser definida 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.

### 3.1.1 Pavimento Flexível

Para SILVA (2008), pavimento pode ser entendido como uma estrutura construída sobre um terreno de fundação, à qual deverá obter resistência suficiente para suportar as ações das cargas de roda dos veículos e as ações do tempo (variação térmica e higrométrica).

Segundo MEDINA (1997), é definido como pavimento flexível aquele constituído por um revestimento betuminoso sobre a base granular ou de solo estabilizado

granulometricamente. No entanto, de acordo com PINTO (2002), pavimento flexível é aquele em que suas camadas sofrem uma deformação elástica de forma significativa sob o carregamento aplicado, portanto, a carga se distribui de forma semelhante entre as camadas.

De acordo com SILVA (2008), o pavimento é composto de várias camadas, com funcionalidades específicas sendo: Camadas de Revestimento (CR), de base (B), de sub-base (SB) e de reforço do subleito (Ref.), e a camada de subleito (S).

Conforme BALBO (2007), subleito é a camada infinita do pavimento, sendo considerada como a fundação do pavimento, isto é, é composta pelo material natural da região, onde se estará situado o pavimento. É a camada que comporta a estrutura do pavimento, deverá receber, suportar e resistir aos esforços resultantes dos carregamentos determinados no projeto. Se não executado de forma adequada poderá comprometer toda estrutura do pavimento, pois se trata de sua fundação.

O reforço do subleito tem o propósito de elevar a capacidade de suporte do pavimento, geralmente, a utilização do reforço, indica que o pavimento receberá um tráfego intenso e pesado ou o material do subleito é de baixa qualidade para receber estrutura do pavimento quando é solicitado o aumento da camada de sub-base. (DNIT, 2009).

A sub-base é a camada superior ao subleito, pode ser definida como camada suplementar da base, obtendo a mesma função da base. Para SENÇO (1997), o material que compõe a sub-base deverá ter características tecnológicas superiores ao material de reforço do subleito, além disso, o material de base deverá ter melhor qualidade que o material da sub-base.

A base é a camada de pavimentação responsável por transmitir os esforços verticais, proveniente do tráfego de veículos sobre o pavimento, pois, é esta camada que recebe o revestimento. As camadas estruturais do pavimento são usualmente, constituídos por agregados, solos e, eventualmente aditivos, como cimento, cal, emulsão asfáltica, entre outros, classificados segundo o seu comportamento frente aos esforços em: granulares e solos, estabilizados quimicamente ou cimentados e materiais asfálticos (BERNUCCI, 2006).

Para a imprimação da base, o principal material utilizado é o Asfalto Diluído de Petróleo (ADP), utilizados também em tratamentos superficiais, esta camada do pavimento tem a função de conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência com o revestimento. No Brasil é utilizado dois tipos de ADP, denominado pela perda dos voláteis e dada segundo a velocidade de evaporação dos solventes, o de cura rápida (CR), cujo solvente é a gasolina ou nafta e de cura média (CM), do qual o solvente é o querosene (BERNUCCI, 2006).

Segundo BALBO (2007), a agregação entre o revestimento e a imprimação, é realizada através da pintura de ligação com Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP), que consiste na diluição do cimento asfáltico de petróleo (CAP), unido à água, solvente, emulsificante e ácido. Sendo classificadas de acordo com a velocidade de ruptura, podendo ser ruptura rápida (RR), ruptura média (RM) e ruptura lenta (RL).

O revestimento é a camada que tem a finalidade de suportar a ação de cargas estáticas ou dinâmicas sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, perda de compactação ou desagregação de componentes. Consequentemente, esta camada deve conter materiais bem aglutinados ou dispostos de maneira a evitar sua movimentação horizontal. Deste modo, os revestimentos asfálticos são constituídos pela junção de agregados e ligantes asfáltico (BALBO, 2007).

Contudo, BERNUCCI (2006) define que o pavimento asfáltico por melhor que seja o projeto e sua execução, a obra está sujeita a falhas, a conservação e manutenção são inevitáveis e essenciais para que o pavimento mantenha as condições de conforto e segurança aos usuários.

### **3.1.2 Mistura Asfáltica**

Nos pavimentos brasileiros, em sua maioria, emprega-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de granulometria variada, variando também quanto à fonte, com ligantes asfálticos que proporcionada e processada adequadamente, garantam ao serviço executado os requisitos de estabilidade, flexibilidade, impermeabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento de acordo com o clima e o tráfego previsto no local (BERNUCCI, 2006).

As misturas asfálticas são materiais viscoelásticos e sob carregamentos repetidos podem romper por trincamento, fadiga ou deformação permanente ou por uma combinação desses mecanismos de degradação.

De acordo com BERNUCCI (2006), a mistura mais utilizada no Brasil é o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), composto por agregados de tamanhos variados e cimento asfáltico, dosados e aquecidos de forma a atingir a viscosidade almejada.

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 a 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.

De acordo com a Resolução nº 19 da Agência Nacional do Petróleo (ANP) constituiu as novas Especificações Brasileiras dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) determinando que as penetrações provenham exclusivamente pela classificação do asfalto a serem aplicados, a tabela 02 especifica e classifica o CAP, sendo quatro tipos disponíveis para comercialização.

Tabela 2 - Especificações para Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) - Classificação por penetração.

Características	Unid.	Valores					
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100g,5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200	NBR 6576	150 a 200
Ponto de amolecimento, min	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol,							
135°C, mín.	s	192	141	110	80	NBR 14950	E102
150°C, mín.		90	50	43	36		
177°C, mín.		40 a 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60		
Viscosidade Brookfield							
a 135°C, mín. SP 21, 20rpm, mín.		374	274	214	155	NBR 15184	D 4402
a 150°C, mín.		203	112	97	81		
a 177°C, SP 21		76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114		
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	-	-
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
Efeito do calor e do ar, 163°C por 85 min.							
Varição em massa, máx.	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5		D 2872
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín.	%	60,0	55,0	55,0	60,0	NBR 7576	D 5

(\*) Relação entre a penetração após o efeito do calor e do ar em estufa RTFOT e a penetração original, antes do ensaio do efeito do calor e do ar.

Fonte: ANP (2005).

Segundo SENÇO (1997), o CBUQ é o preferido para o revestimento de vias expressas, sendo, o mais nobre dos revestimentos flexíveis. Consiste na mistura de agregados e betume, satisfazendo rigorosas especificações e dosagem entre eles. A mistura é realizada em usinas, com rigoroso controle de granulometria, teor de betume, temperatura do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão.

BALBO (2007), destaca que o CBUQ, é o material utilizado para o revestimento de pavimentos, inclusive capas de rolamento e camadas de ligação imediatamente subjacentes aos revestimentos, obtido à partir da mistura e homogeneização dos agregados em geral bem graduados e de material fino para preenchimento e de CAP.

Para SENÇO (1997), a classificação da granulometria dos agregados pode ser fracionada em: Agregado Graúdo, constituído por pedra britada ou seixo rolado, com superfície rugosa e forma angular; Agregado Miúdo, composto de areia, pó de pedra ou a mistura de ambos; e, Filler que pode ser formado de cimento, pó de pedra, pó de calcário e similares.

Tabela 3 - Espessuras e teor de Asfalto recomendadas para concretos asfálticos.

Camada	Faixa	Espessura Máxima (mm)	Espessura Mínima (mm)	Teor de Asfalto (em % do peso de Agregado)
De Regularização ou de ligação	A	90	65	4,0 - 7,0
De ligação ou de rolamento	B	75	50	4,5 - 7,5
De Rolamento	C	50	25	4,5 - 9,0

Fonte: BALBO (2007).

A espessura final do revestimento em CBUQ deve ser executada com a compactação feita em camadas distintas, com ou sem a alteração de faixas granulométricas, este procedimento é empregado para garantir a densidade correta do material, a Tabela 03 salienta as espessuras recomendadas. A camada superficial é denominada capa de rolamento ou camada de desgaste, a camada inferior recebe o nome de binder ou camada de ligação. Outra função do CBUQ é a regularização ou reperfilagem de um pavimento já existente, que pode ser designado como camada de regularização ou de nivelamento (BALBO, 2007).

Tabela 4 - Composição Concreto Asfáltico.

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	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 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: DNIT (2006).

Segundo DNIT (2006), a composição da mistura do CBUQ, bem como a faixa a ser utilizada deve ser determinada de acordo com a granulometria e teor de ligante definidos projeto da mistura. A faixa a ser utilizada deve ser estipulada seguindo os indicadores da Tabela 04, cujo diâmetro máximo do agregado não exceda 2/3 da espessura da camada. Na Tabela 05 aponta alguns limites a serem obedecidos para o CBUQ.

Tabela 5 - Valores Limites para o Concreto Asfáltico.

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
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
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	DNER-ME 138	0,65	0,65

Fonte: DNIT (2006).

### 3.1.3 Tipos de Patologia do Pavimento Flexível

De acordo com DOMINGUES (1993), se um pavimento não atende satisfatoriamente ou sua estrutura apresenta alguma ameaça comprometendo a segurança e o conforto do usuário, reparos para a sua reabilitação devem ser realizados, para que seja restituído a segurança e seu inicial rolamento suave.

Inclusive, BERNUCCI (2006) explana que para o usuário as condições da superfície do pavimento é o mais importante, devido ao fato que estas patologias ou irregularidades são perceptíveis, afetando o conforto e promovendo uma sensação de insegurança durante o percurso. Diante disto, existem métodos de diagnosticar e apurar as possíveis causas para estas patologias, visando à reparação e estabelecimento dos níveis de serventia.

Para DOMINGUES (1993), os tipos de patologias são determinados, principalmente por similaridades nos mecanismos de ocorrência e na aparência visual, as prováveis causas indicam os motivos específicos de ocorrência. Quanto aos níveis de severidade, são categorizadas como baixo, médio e alto, dependendo da exigência de reabilitação.

Devido aos problemas quanto à segurança e conforto, o DNIT (2006) classifica os tipos de patologias do pavimento flexível, codificados conforme demonstra a Quadro 01.

As Fendas podem ser denominadas entre fissuras e trincas, as trincas são discontinuidades com largura superior as fissuras (FI), as quais são visíveis a distâncias inferiores a 1,5 metros. As trincas no revestimento podem ser ou não devido à fadiga, não causam problemas estruturais, mas a redução do atrito, as trincas que têm como causa a fadiga podem ser isoladas, trincas transversais (TT) e longitudinais (TL) ou interligadas (couro de jacaré) J (DNIT, 2006), demonstradas abaixo na figura 03 alguns dos tipos de Trincas e Fissuras.

Figura 3 - Fendas.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Quadro 1 - Resumo dos defeitos – Codificação e Classificação (Norma DNIT 005/2003 - TER).

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
		Longitudinais	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
<b>OUTROS DEFEITOS</b>					<b>CODIFICAÇÃO</b>		
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP			
		Da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do 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 betuminoso)					E		
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX		
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D		
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P		
Remendos		Remendo Superficial			RS		
		Remendo Profundo			RP		

Nota 1: Classe das Trincas Isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas

Fonte: DNIT (2006).

As prováveis causas, segundo DOMINGUES (1993) são: colapso do revestimento devido à ação repetida das cargas do tráfego; subdimensionamento ou má qualidade nas camadas do pavimento; solo com baixa capacidade de suporte; envelhecimento do revestimento e asfalto duro ou quebradiço, podendo ocorrer principalmente nas trilhas de roda.

Segundo DNIT (2006), as trincas transversais são trincas isoladas e aproximadamente perpendiculares ao eixo do pavimento, sendo causadas pela reflexão de juntas ou trincas subjacentes. Se o comprimento da trinca transversal for maior que 1m, ela será chamada de trinca transversal longa (T.T.L.), e quando for menor ou igual 1m, ela será chamada de trinca transversal curta (T.T.C.), como demonstrado na Figura 4.

DOMINGUES (1993) explana que as prováveis causas deste tipo de patologia se devem aos seguintes fatos: contração do revestimento devido às baixas temperaturas ou endurecimento do asfalto; propagação de trincas abaixo do revestimento, este tipo de trincamento não está relacionado às cargas do tráfego e podem ocorrer em qualquer local da superfície do revestimento.

Figura 4 - Trincas transversais.



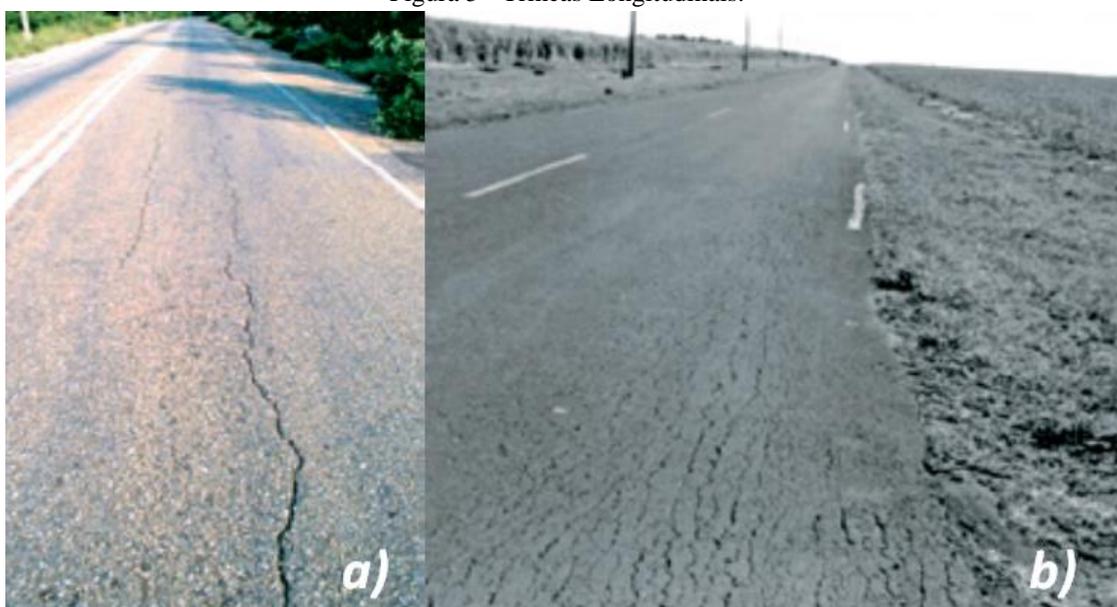
Fonte: DNIT (2003).

Para DNIT (2006) as trincas longitudinais são trincas isoladas e aproximadamente paralelas ao eixo do pavimento sendo causada pela má execução da junta de construção, reflexão de trincas, assentamento da fundação, retração do revestimento de asfalto, ou estágio inicial da fadiga. Quando o comprimento da trinca longitudinal for maior que 1m, ela será

chamada de trinca longitudinal longa (TLL), e quando for menor ou igual 1m, será chamada de trinca longitudinal curta (TLC), como se pode observar abaixo na figura 05.

De acordo com DOMINGUES (1993), as causas prováveis para o surgimento da TL, podem ser a má execução da junta longitudinal de separação entre as faixas do tráfego; recalque diferencial, quando há o alargamento do pavimento; contração da capa asfáltica devido a baixa temperatura ou endurecimento do asfalto; propagação de trincas do revestimento, podem ocorrerem em qualquer área da superfície do pavimento não sendo associada as cargas do tráfego.

Figura 5 - Trincas Longitudinais.



- a) Trinca Longitudinal Longa;
- b) Conjunto de Trincas Longitudinais.

Fonte: BERNUCCI (2008).

De acordo com DNIT (2006), as trincas isoladas de retração (TRR) não são causadas pela fadiga do pavimento e sim pelos fenômenos de retração térmica, ou pela retração do material do revestimento ou do material de base subjacente ao revestimento trincado, demonstrado conforme figura 06.

As trincas em bloco (TB) são causadas pela retração do revestimento asfáltico e por variações diárias de temperatura, indicam que o asfalto sofreu endurecimento significativo, devido a sua oxidação, o tornando menos flexível. Caracterizam-se por ter uma configuração aproximada de um retângulo, com áreas variando de 0,1 m<sup>2</sup> a 10 m<sup>2</sup> (DOMINGUES, 1993).

Figura 6 - Trincas Isoladas de Retração.



Fonte: BERNUCCI (2008).

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 a 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 07.

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 7 - Trincas em Bloco.



a) Sem erosão; b) Com erosão.

Fonte: BERNUCCI (2008).

De acordo com DNIT (2006) afundamento é uma deformação permanente caracterizada por depressão na superfície do pavimento que pode ser acompanhada de elevação ao longo das bordas ou não, podendo ser considerada afundamento plástico ou de consolidação. A Figura 08 demonstra este tipo de patologia.

BERNUCCI (2008) define as prováveis causas para este tipo patologia: falhas na dosagem dos insumos da mistura asfáltica, excesso de ligante asfáltico, escolha errada do tipo de revestimento asfáltico para as cargas solicitantes, compactação insuficiente, entre outros.

Ainda, para DOMINGUES (1993) afundamento pode surgir também devido ao defeito na construção do pavimento; causadas pelo recalque do terreno de fundação ou de aterro; enfraquecimento dos materiais abaixo do pavimento, devido a infiltração de água, ocorrendo em sua grande maioria nas trilhas de roda.

Figura 8 - Afundamento na trilha de roda.



Fonte: DNIT (2003).

As corrugações (O) são ondulações transversais ao eixo da via, está relacionado devido à má execução, excesso de asfalto no pavimento estrutural, excesso de agregados finos, incidindo na baixa resistência do CBUQ, (DNIT, 2006), demonstrado na figura 09.

Segundo DOMINGUES (1993), a corrugação ocorre pela falta de estabilidade da mistura asfáltica, umidade excessiva no subleito, contaminação da mistura asfáltica, ou pela falta de aeração das misturas líquidas. As corrugações estão associadas às tensões cisalhantes horizontais geradas por veículos em áreas submetidas à aceleração ou frenagem, podendo surgir em qualquer porção do pavimento, muito frequente em intersecções, curvas, aclives, declives e nas proximidades das trilhas de roda.

Figura 9 - Ondulação / Corrugação.



Fonte: DNIT (2003).

DNIT (2006) explana 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, demonstrada na figura 10.

Segundo BERNUCCI (2006), o escorregamento ocorre principalmente em áreas de frenagem e de interseções, quando o veículo causa deslizamento da massa asfáltica (baixa aderência) ou sua deformação (baixa resistência).

Figura 10 - Escorregamento do Revestimento.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Para o DNIT (2006) a exsudação se manifesta pelo excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultando na migração do ligante através do revestimento, conforme se pode observar na figura 11.

DOMINGUES (1993) define como causa provável da exsudação o excesso de ligante e baixo conteúdo de vazios na mistura asfáltica, ocorre durante a estação quente quando o ligante se expande e emerge para a superfície, o tráfego pode aumentar a densidade ao longo das trilhas de roda com o aumento da exsudação.

Figura 11 - Exsudação.



Fonte: DNIT (2003).

Para DNIT (2006), o desgaste superficial (D) é uma associação do tráfego com o intemperismo, é relacionado com o arrancamento progressivo do agregado do pavimento promovendo uma aspereza superficial e posteriormente chegando a obter uma superfície polida, conforme figura 12 exemplifica o desgaste do pavimento.

A causa é a volatilização e a oxidação do asfalto, sob a ação abrasiva do tráfego e do intemperismo, isto ocorre geralmente quando o revestimento está em idades avançadas. Caso venha ocorrer à perda progressiva de agregado pouco tempo após a abertura ao tráfego, a causa pode ser um superaquecimento do asfalto na usina ou a falta de ligante na mistura asfáltica (BERNUCCI, 2006).

Figura 12 - Desgaste do Pavimento Flexível.



Fonte: DNIT (2003).

De acordo com o DNIT (2006), panela ou buraco (P) é uma cavidade que se forma no revestimento e pode atingir as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação destas camadas, a figura 13 ilustra um exemplo de panela.

Os buracos são evoluções das trincas, afundamentos, ou desgaste, a água é comprimida e, como ela é incompressível, tende a desagregar ou amolecer as camadas do pavimento, o acúmulo de água de chuva leva a uma desagregação mais rápida do revestimento, para correção desta patologia é necessário, a execução de remendo de superfície ou remendo profundo (BERNUCCI, 2006).

Figura 13 - Panela e Panela atingindo a base.



Fonte: BERNUCCI (2008).

De acordo com DNIT (2006), Remendo de Revestimento, é a correção em uma área localizada do pavimento, por meio de lançamento de mistura asfáltica sobre o local afetado chamada também de tapa buraco, demonstrado na Figura 14. Sendo classificado em duas categorias, considera-se remendo superficial quando houver apenas correção do revestimento, por intermédio de fresagem e reposição do revestimento asfáltico ou profundo quando além do revestimento, forem corrigidas uma ou mais camadas inferiores, podendo atingir o subleito.

O acúmulo de água de chuva nas trincas superficiais, existentes na camada asfáltica, leva a uma desagregação mais rápida do revestimento, para correção desta patologia é necessário, a execução de remendo de superfície ou remendo profundo.

Figura 14 - Remendo bem executado.



Fonte: BERNUCCI (2008).

De acordo com DOMINGUES (1993), desnível entre a pista e o acostamento é definido pela elevação entre ambos, apresentado na Figura 15, geralmente o acostamento é mais baixo que a pista, é classificado como defeito funcional, podendo ocorrer devido ao recalque diferencial ou bombeamento do material sob o acostamento; elevação do acostamento devido ao frio ou inchamento do solo; perda de material de acostamento não estabilizado, devido ao deslocamento de ar provocado pelos veículos; ou defeito de construção.

Figura 15 - Desnível entre a pista e acostamento.



Fonte: Autor (2017).

### 3.1.4 Métodos de Ensaio e Especificação de Serviços

Conforme DNIT (2006) é necessário definir processos para a aplicação, produção, utilização de equipamentos, controle de qualidade dos materiais empregados para a execução da camada de revestimento para os pavimentos flexíveis, desde a confecção da mistura asfáltica a quente em usina apropriada utilizando o ligante asfáltico, juntamente com os agregados e o material de enchimento.

DNIT (2006) destaca a Especificação do Serviço 031/2006 - Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico; sendo a responsável por estabelecer a sistematização na produção de misturas asfálticas a quente a serem aplicadas como revestimento de pavimentos. Concerne seu conteúdo os parâmetros a serem considerados, bem como suas especificações, onde os principais pontos a serem analisados são os materiais empregados: cimento asfáltico, agregados graúdo, miúdo e material de enchimento (filler), melhorador de adesividade, composição da mistura asfáltica, equipamentos, execução, operação, inspeção e controle de produção.

Ainda na Especificação Técnica 031/2006, segundo DNIT (2006), conforme demonstra a Tabela 04, 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.

Segundo DNER (1998), é fundamental que o percentual de betume em misturas betuminosas esteja de acordo com o projeto, sendo assim, a Norma DNER-ME 053/94: Misturas Asfálticas – Percentagem de Betume visa definir os procedimentos para a extração do teor de betume utilizando extrator centrífugo e especifica suas premissas para execução deste ensaio.

Para o DNIT (1995), deve se determinar a estabilidade e fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico a quente, para tal é Norma DNER-ME – 043/95 Misturas Betuminosas a Quente, determina os procedimentos a serem seguidos. Este método de ensaio determina a estabilidade Marshall, que pode ser denominada como resistência máxima à compressão em corpo de prova moldado e ensaiado, assim como determina a fluência Marshall, que é a deformação total apresentada pelo corpo de prova pela aplicação da carga para o rompimento.

### **3.1.5 Avaliação do Pavimento**

Para que um nível de serviço de uma rodovia seja considerado bom, os parâmetros principais há serem analisados são as características que proporcionam um tráfego agradável, com conforto e segurança. As informações sobre a atual situação da rodovia irão indicar qual o nível de serviço, no momento de suas avaliações, para que sejam tomadas as decisões sobre as intervenções a serem efetuadas na via.

#### **3.1.5.1 Valor de Serventia Atual (VSA)**

Um dos métodos de avaliação utilizados é o Valor de Serventia Atual (VSA), onde o mesmo é considerado como um método de avaliação subjetiva, onde são verificados o quanto satisfatório é a interação entre veículo e via na velocidade considerada e o quanto a aparência da via está prejudicada em termos de trincas, textura, buracos, cor, entre outras patologias.

De acordo com a norma DNIT 009/2003 – PRO, (2003), a serventia atual de uma via é a capacidade de um trecho específico do pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego.

Explana ainda que, Valor de Serventia Atual (VSA) é a Medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às

exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.

Para encontrar o valor de serventia atual é dada uma atribuição numérica para a via em uma escala de 0 a 5, onde a mesma será obtida pela média de notas do avaliador visando o conforto ao rolamento em um determinado trecho. Esta escala compreende cinco níveis de serventia. Cada avaliação individual deve retratar o Valor de Serventia Atual do pavimento, baseada na experiência do membro do grupo que, durante sua atividade profissional, tenha dirigido veículos e examinado extensões razoáveis de rodovias, DNIT 009/2003 – PRO.

Na tabela 06 é exposto o padrão de conforto ao rolamento da via e sua sucessiva escala numérica proveniente de avaliação.

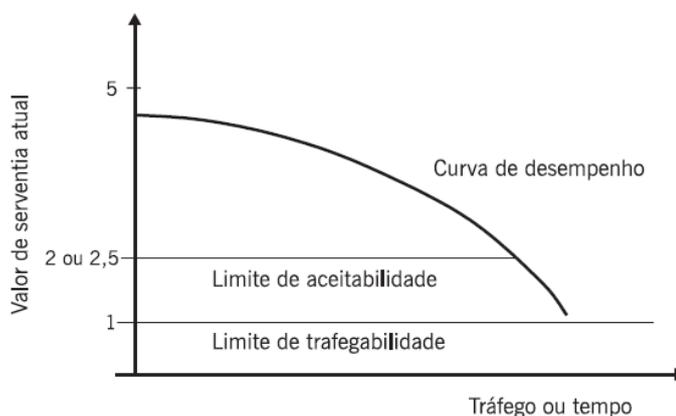
Tabela 6 - Níveis de Serventia.

<b>Padrão de conforto ao rolamento</b>	<b>Avaliação (faixa de notas)</b>
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: DNIT (2003).

O valor de serventia atual em relação ao tráfego ou tempo, pode ser representada conforme ilustra a Figura 16, onde a mesma retrata que o VSA é maior quando o trecho acaba de ser executado ou a manutenção finalizada, declinando de acordo com o tráfego existente e até mesmo pelo tempo de utilização.

Figura 16 - Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via.



Fonte: BERNUCCI (2008).

Para a averiguação do VSA, algumas diretrizes devem ser consideradas, conforme DNIT 009/2003 – PRO, destaca:

- a) O trecho de pavimento deve ser avaliado determinando o Valor de Serventia Atual como se fosse para uma rodovia de tráfego intenso e constituído de veículos comerciais e de passageiros.
- b) O avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície e, conseqüentemente, pode classificar um pavimento como “bom”, embora suspeite que o mesmo possa romper-se em futuro próximo.
- c) A avaliação não deve ser feita em condições climáticas desfavoráveis, como chuva, neblina, nevoeiro etc.
- d) O avaliador deve ignorar os aspectos do projeto geométrico do trecho da rodovia que está sendo avaliada (alinhamento, largura do acostamento, largura do revestimento, etc.). Os trechos devem ser avaliados como se o projeto geométrico fosse adequado para qualquer tipo de tráfego.
- e) O avaliador não deve considerar, na avaliação, a resistência à derrapagem do revestimento.
- f) Os avaliadores devem considerar principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície. Grandes depressões resultantes do recalque de aterros devem ser ignoradas (ver DNIT 005/2003-TER).
- g) Os avaliadores devem desprezar os cruzamentos ferroviários, irregularidades nos acessos das pontes e irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros.

Conforme DNIT 009/2003 – PRO, os resultados para cada trecho de pavimento avaliado devem ser relacionados separadamente e são obtidos por meio da equação 01:

$$VSA = \frac{\sum X}{n} \quad \text{Equação 1 - Valor de Serventia Atual}$$

Onde: VSA = Valor de Serventia Atual;

X = Valores de Serventia Atual individual atribuído por cada membro do grupo;

n - número de membros do grupo de avaliação.

NOTA: Para a determinação do Valor de Serventia Atual, devem ser escolhidos, previamente, trechos homogêneos, com extensão máxima de 2 quilômetros, após rápida inspeção prévia pela equipe de avaliadores.

Fonte: DNIT (2003)

### 3.1.5.2 Índice de Gravidade Global (IGG)

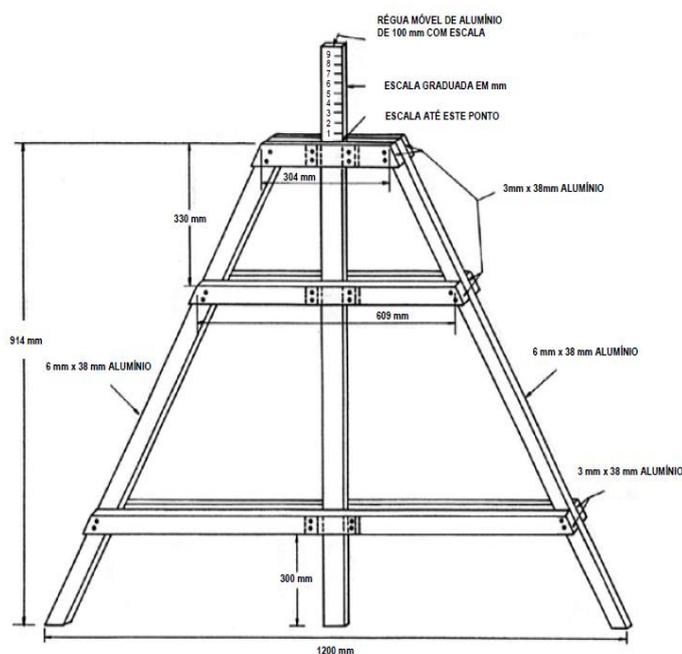
Do mesmo modo que a avaliação subjetiva explana a opinião dos avaliadores com relação ao pavimento flexível, a avaliação objetiva mensura os defeitos que afetam a serventia do pavimento. A Norma DNIT 006/2003 – PRO, subsequentemente acrescida da norma DNIT 007/2003 – PRO, normatiza alguns procedimentos para definir as ocorrências visíveis e as deformações, permanentes nas trilhas de roda.

Segundo DNIT 006/2003 – PRO, Esta Norma fixa as condições exigíveis para a avaliação objetiva da superfície de pavimentos rodoviários, dos tipos flexíveis e semirrígidos, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes e da medida das deformações permanentes nas trilhas de roda.

Como solicitado pelo DNIT 006/2003 - PRO, para avaliação das superfícies, deve ser utilizada a seguinte aparelhagem:

- 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. Conforme demonstrado na Figura 17.
- 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 17 - Treliça para medição das trilhas de roda.



Fonte: DNIT (2003)

Para a utilização deste método são delimitadas estações a serem inventariadas, a extensão a ser analisada, em cada estação é de 3,00 m antes e 3,00 m depois. Essas estações são marcadas a cada 20 m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento. As superfícies a serem avaliadas devem ser delimitadas por meio de pintura com tinta de demarcação e numeradas com clareza para evitar dúvidas no momento do levantamento.

De acordo com o DNIT 006/2003 – PRO, deve seguir as seguintes etapas para obter se os resultados do Índice de Gravidade Global (IGG), seguido as seguintes etapas com suas respectivas equações. Após a análise visual segue para a determinação da frequência absoluta (fa) corresponde ao número de vezes em que a ocorrência foi verificada. A frequência relativa (fr) é obtida através da equação 02.

$$fr = \frac{f_a \times 100}{n} \quad \text{Equação 2 - Frequência Relativa.}$$

Para cada uma das ocorrências inventariadas, deve ser calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), pela equação 03:

$$IGI = f_r \times f_p \quad \text{Equação 3 - Índice de Gravidade Individual.}$$

Onde:

fr - frequência relativa;

fp - fator de ponderação, obtido de acordo com a Tabela 07.

Fonte: DNIT (2003).

Tabela 7 - 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) 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 (fr) 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.	0,8
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 (2003).

Para o cálculo da média aritmética das médias das flechas e para a média aritmética das variâncias das flechas, o fator de ponderação a utilizar depende do valor das médias aritméticas, conforme o critério a seguir estabelecido:

- 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 TRE 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 as seguintes:

$$\bar{x} = \frac{\sum Ex_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Equação 4 - Média e Variância das flechas medidas.

Em que:

$\bar{x}$  - média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

$i$   $x$  - valores individuais;

$s$  - desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

$s^2$  - variância.

Fonte: DNIT (2003).

Finalmente o Valor do Índice de Gravidade Global (IGG) é obtido por meio da seguinte fórmula:

$$IGG = \sum IGI$$

Equação 5 - Índice de Gravidade Global (IGG).

Onde:

IGI - somatório dos Índices de Gravidade Individuais;

Índice de Gravidade Global deve ser calculado para cada trecho homogêneo.

Fonte: DNIT (2003).

O conceito de degradação do Pavimento inventariado em função do IGG é conferido considerando o conceito que retrate o grau de degradação atingido, correspondendo de acordo com a Tabela 08.

Tabela 8 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

<b>Conceitos</b>	<b>Limites</b>
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 (2003).

### 3.1.6 Dimensionamento do Pavimento Flexível

De acordo com DNIT (2006), este método de dimensionamento de pavimentos flexíveis tem como base o trabalho “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, desenvolvido por W.J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Ahlvin, pelo Corpo de Engenheiros do exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas pelos testes realizados na Pista Experimental da AASHTO.

Para os materiais que incorporam o pavimento são adotados coeficientes de equivalência estrutural, de acordo com os resultados obtidos pela AASHTO, com algumas modificações quando considerado necessárias. A capacidade de suporte das camadas do pavimento é definida pelo CBR, onde as mesmas devem possuir grau de compactação de no mínimo 100% do especificado em projeto (DNIT, 2006).

Ainda, segundo DNIT, deve ser aplicada uma energia de compressão que corresponda ao Proctor modificado em solos granulares com a granulação grossa. Os materiais do subleito devem apresentar expansão menor ou igual a 2% e  $\text{CBR} \geq 2\%$ , quando não atingir estes requisitos será necessária troca deste solo por outro que corresponda a estas solicitações, tendo em vista a classificação dos materiais a ser empregado:

- a) Materiais para reforço do Subleito, os que apresentam CBR maior que o do subleito e expansão  $\leq 1\%$  (medida com sobrecarga de 10 lb);
- b) Materiais para Sub-Base, os que apresentam  $\text{CBR} \geq 20\%$ ,  $\text{IG} = 0$  e expansão  $\leq 1\%$  (medida com sobrecarga de 10 lb);

- c) Materiais par Base, os que apresentam: CBR  $\geq$  80% e expansão  $\leq$  0,5% (medida com sobrecarga de 10 lb), limite de liquidez  $\leq$  25% e índice de plasticidade  $\leq$  6%.

O DNIT (2006) descreve que os materiais para base granulares devem enquadrar-se dentro das faixas determinadas conforme demonstra a Tabela 09.

Tabela 9- Granulometria para base granular.

Tipos Peneiras	Para N > 5 x 10 <sup>6</sup>			Para N < 5 x 10 <sup>6</sup>			Tolerâncias de Faixa de Projeto
	A	B	C	D	E	F	
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

Fonte: DNIT (2006).

### 3.1.7 Número "N"

De acordo com PINTO (2002), o número equivalente N, é 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 dado pela Equação 6.

$$V_m = \frac{V1[2 + (P-1)t/100]}{2} \quad \text{Equação 6 - Volume Médio do Tráfego em um Sentido.}$$

Onde:

Vm = volume médio diário de tráfego em um sentido;

V1 = volume médio diário atual;

P = período em anos;

t = taxa de crescimento anual.

O volume de tráfego anual para um sentido é calculado conforme Equação 7.

$$V_t = 365 \times P \times V_m \quad \text{Equação 7 - Volume de Tráfego Anual para um Sentido.}$$

Onde:

$V_t$  = volume de tráfego anual para um sentido

365 = total de dias em um ano

P = período de projeto em anos

$V_m$  = volume médio diário de tráfego em um sentido

Conhecido  $V_t$ , calcula se o N, seguindo as seguintes equações:

$$N = V_t \times 365 \times P \times FV \times FR \times C \quad \text{Equação 8 - Número N.}$$

Onde:

$V_t$  = volume de tráfego anual para um sentido;

365 = Quantidade de dias no ano;

P = Período de Projeto;

FV = Fator de Veículo;

FR = Fator Climático Regional;

c = Percentual de veículos comerciais na faixa de Projeto, conforme Tabela 10.

Para se obter o Fator de Veículo deve-se seguir a Equação 9.

$$FV = F.E \times F.C \quad \text{Equação 9 - Fator de Veículo}$$

Onde:

F.E = Fator de Equivalência

F.C = Fator de Carga

Tabela 10 - Percentuais de Veículos Comerciais na Faixa de Projeto.

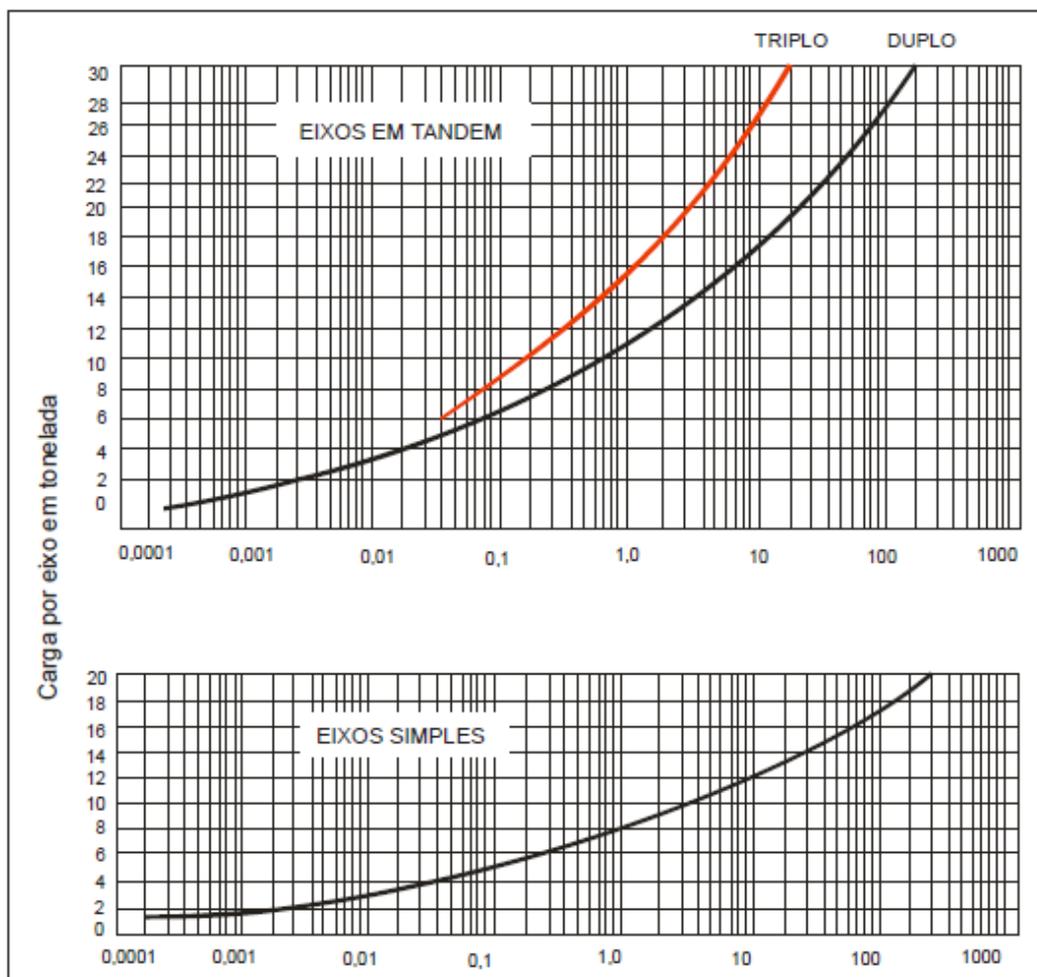
<b>Número de Faixas de Tráfego da Rodovia</b>	<b>Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto ( c )</b>
2 (pista simples)	50%
4 (pistas dupla)	35 a 48 %
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48 %

Fonte: DNIT (2006)

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 18, 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 Semi-Reboques, as diferentes condições de veículos em unidades múltiplas.

Figura 18 - Fatores de Equivalência de Operação



Fonte: DNIT (2006).

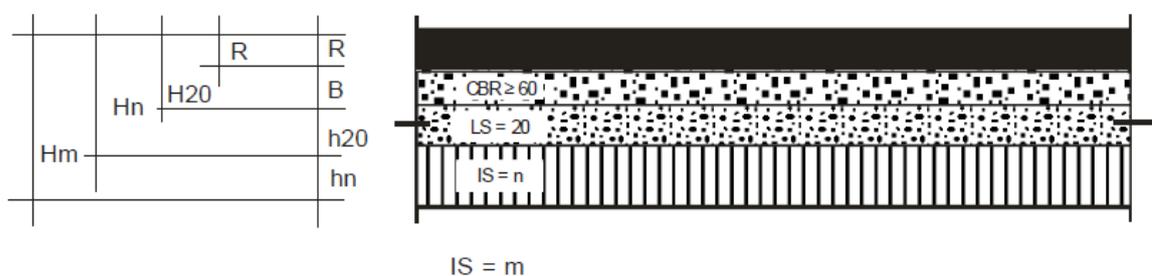
Com os dados da pesagem, forma-se uma tabela contendo em separado os diversos tipos de eixos por intervalo de carga, representados pelo ponto central. Ainda, seguindo o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), pode ser utilizado como fonte para auxiliar a determinação do número N no quadro Veículos Adotados na Classificação do DNIT, conforme demonstrado no Anexo I, onde o mesmo especifica a carga estimada transmitida pelo eixo do veículo em análise para o pavimento.

### 3.1.8 Dimensionamento das Camadas do Pavimento

Segundo o DNIT (2006) para o dimensionamento de todo o pavimento deve ser utilizado o ábaco da Figura 20, onde o mesmo 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.

A espessura das camadas citadas devem obter no mínimo 15 cm onde as camadas de compactação não devem ultrapassar 20 cm, nem ser inferiores a 10 cm, a Figura 19 exemplifica as camadas a serem dimensionadas. Utilizam-se os símbolos  $H_{20}$  e  $h_{20}$  para denominar as espessuras sobre a sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente, mesmo que o CBR ou IS seja superior a 20. Os símbolos B e R nomeiam as espessuras de base e de revestimento (DNIT, 2006).

Figura 19 - Camadas para Dimensionamento do Pavimento.



Fonte: DNIT (2006)

Ainda seguindo as especificações do 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)  $RK_R+BK_B+h_{20} K_s +h_n K_{Ref} \geq H_m$ ,

Para o dimensionamento do acostamento, de acordo com o DNIT (2006), não existe dados seguros disponibilizados, sendo que a sua espessura está condicionada à da pista de rolamento, podendo ser feitas reduções da espessura no revestimento, devido ao fato que as solicitações de cargas são diferentes, podendo ainda, haver uma solução estrutural diferente a da pista de rolamento.

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 10.

Tabela 11 - Coeficiente de equivalência estrutural.

<b>Componentes do pavimento</b>	<b>Coeficiente K</b>
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
<b>Camadas Granulares</b>	<b>1,00</b>
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

Nota: Pesquisas futuras podem justificar mudanças nestes coeficientes.

Os coeficientes estruturais são designados genericamente por:

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

Fonte: DNIT (2006).

A espessura mínima do revestimento de um pavimento deve ser adotada para os revestimentos betuminosos, mas ainda é uma questão em aberto na engenharia rodoviária, pois, tanto para proteger a base granular dos esforços ocasionados pelo tráfego, quanto para evitar rupturas do próprio revestimento devido aos esforços repetitivos de tração e flexão.

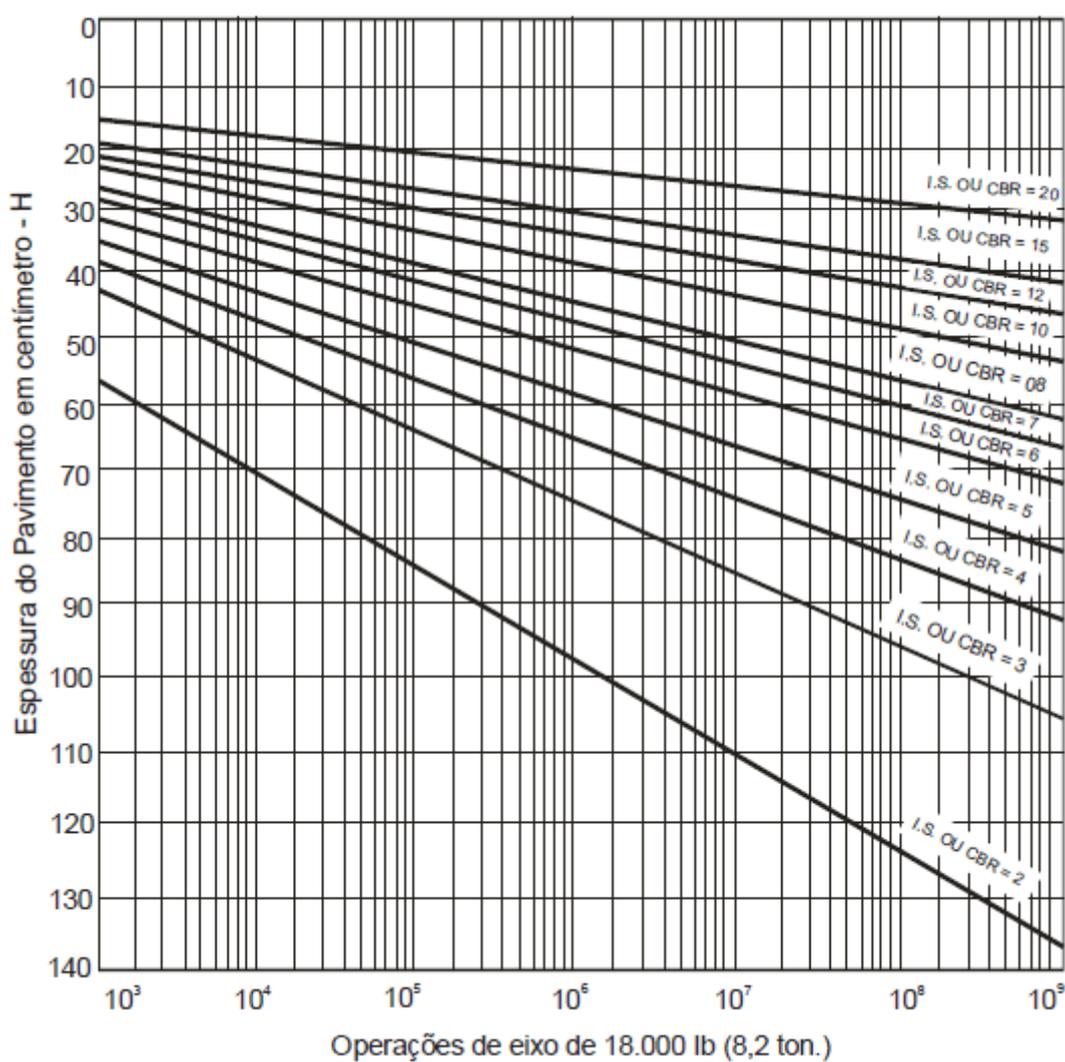
A Tabela 12 recomenda as espessuras para o revestimento especialmente para as bases granulares, definidas conforme as considerações mencionadas (DNIT, 2006).

Tabela 12 - Espessura Mínima do Revestimento Betuminoso.

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	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
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006).

Figura 20 – Ábaco para Determinação de Espessuras do Pavimento Flexível.



$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Fonte: DNIT (2006)

## 4 METODOLOGIA

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

Para a elaboração desta análise, o método utilizado foi o Valor de Serventia Atual (VSA), seguindo as recomendações prescritas na Norma DNIT 009/2003 – PRO, conforme detalhado no item 3.1.5.1, o trecho delimitado foi verificado minuciosamente seccionado em frações de aproximadamente um quilômetro (1 km), com o intuito de identificar e atribuir os valores do nível de serventia de acordo com as condições e patologias existentes no trecho, com a percepção para o grau de conforto e segurança no trajeto em veículo de passeio. Posteriormente, o trecho foi percorrido em caminhada, ponderando e catalogando com fotografias as patologias existentes e atribuindo valores para o nível de serventia.

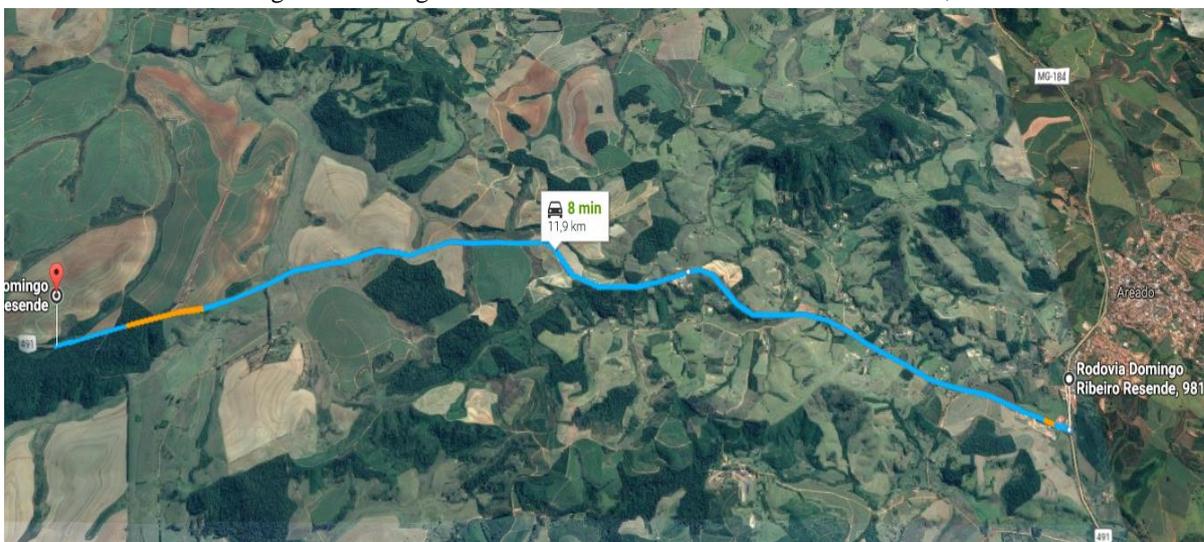
Como uma análise complementar ao VSA, aspirando um diagnóstico com maior precisão, amostras do revestimento existente foram coletadas, nos quais foram submetidos a ensaios de laboratório, para a verificação do teor de betume, apresentado no item 3.1.4 e ensaio de granulométrica, visando se o revestimento existente condiz com as faixas especificadas na Tabela 4 - DNIT (2006), expandindo as perspectivas para prováveis causas da deterioração do pavimento.

Com base nos resultados que serão obtidos, o pavimento será redimensionado de acordo com a projeção de tráfego futuro para um período de 10 (dez) anos, para o dimensionamento do pavimento serão seguidas as premissas e parâmetros contidos e solicitados no Manual de Estudos de Tráfego (2006) e Manual de Pavimentação (2006), ambos desenvolvidos e elaborados pelo DNIT.

## 5 ESTUDO DE CASO

Para realizar o presente trabalho de conclusão de curso, foi delimitado um trecho da Rodovia MG 491, que neste percurso é denominada também como Rodovia Domingo Ribeiro de Resende, entre os quilômetros 138 até o quilômetro 149,9 km, totalizando 11,9 quilômetros, trecho situado entre os municípios de Areado/MG e Monte Belo/MG, representado conforme Figura 18.

Figura 21 - Imagem aérea Rodovia MG-491 - Km 138 à Km 149,9.



Fonte: Google Maps (2017).

A rodovia BR-491 é uma rodovia federal situada no estado de Minas Gerais, com início no município de São Sebastião do Paraíso e término na BR-381 município de Três Corações, na extensão total de 263,6 Km. Tendo seu percurso a jurisdição dividida entre o DER/MG com os trechos Km 54,7 ao 150,6 e Km 247 ao 263,6 e os demais trechos sob o domínio do DNIT.

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 4.330 veículos por dia, realizando a interligação entre os municípios de Areado, Monte Belo e demais cidades circunvizinhas.

Conforme ilustra a Figura 19, o início do trecho em estudo está situado especificamente no Km 138, próximo a intersecção para a entrada da Usina Monte Alegre, seguindo o sentido para a cidade de Areado/MG, finalizando na intersecção entre a Rodovia MG-491 com a rodovia MG-184, mostrado pela Figura 20.

Figura 22 - Início do trecho em estudo.



Fonte: Autor (2017).

Figura 23 - Final do trecho em estudo.



Fonte: Autor

Para definir os parâmetros das condições de superfície do pavimento e apuração das patologias no trecho, foi executado a análise de conforto em relação ao passageiro em veículo de passeio e um inventário fotográfico in loco com os defeitos existentes na rodovia em estudo.

O método adotado para esta análise foi o VSA, conforme já especificado no item 3.1.5.1, com o intuito de identificar e atribuir os valores do nível de serventia de acordo com as condições e patologias existentes no trecho, para então classifica-las de acordo com o Quadro 1, com intuito de obter a classificação do padrão de conforto do trecho em análise para posterior resolução das Patologias.

Tendo em vista a classificação e codificação para as patologias, conforme Quadro 01, os trechos foram inspecionados, inventariados e avaliados, conforme solicitado pelo método VSA, obtendo os resultados por trechos segmentados por aproximadamente um quilômetro cada.

Entre os km 138 e 139, em seu segmento há afundamentos nas trilhas de roda com trincamento por fadiga e desagregação dos agregados, desnível entre pista e acostamento, trincas em bloco, remendo do revestimento com deterioração, trinca transversal,

escorregamento do revestimento, trinca longitudinal, em níveis de severidade baixo, médio e alto, de acordo com a avaliação VSA o nível de serventia é 2,0.

O segmento do Km 139 até o Km 140 foi constatado trincas longitudinais, desníveis entre pista e acostamento com trincas nos bordos, panela na pista de rolamento e também no acostamento, afundamento nas trilhas de roda com desagregação, remendo do revestimento com deterioração, trincas em bloco com desagregação, com níveis de severidade entre baixo e alto, culminado no valor de serventia de 1,5.

O nível de serventia atribuído para o trecho Km 140 a Km 141 foi de 2,0, devido aos defeitos apresentados e níveis de severidade baixo, médio e alto, sendo eles: desnível de pista acostamento com trincas nos bordos, afundamento nas trilhas de roda com desagregação do revestimento, trincas em bloco, escorregamento do revestimento e trincamento transversal.

O trecho do Km 141 ao Km 142 apresentou patologias com níveis de severidade de grau baixo, médio e alto, tendo ao longo de seu percurso escorregamentos, desnível entre pista e acostamento com trincas nos bordos, panela, trincas em bloco, trinca longitudinal, afundamento de trilha de roda por fadiga com desagregação e remendo no revestimento com deterioração, teve avaliação de 2,5 em seu nível de serventia.

Entre o Km 142 e Km 143, os defeitos constatados foram trincas em bloco, escorregamento, afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, desnível entre a pista e acostamento e panela, os níveis de severidade variam entre baixo, médio e alto, resultando no valor de serventia igual 2,0, de acordo com a avaliação VSA.

Do Km 143 ao Km 144 o valor de serventia considerado foi de 1,0 devido as patologias encontradas, sendo, panelas, afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, trincas longitudinais, exsudação, remendo no revestimento com deterioração, escorregamento, trinca transversal, trinca longitudinal, todas com níveis de severidade com grau médio e alto, podendo ser verificado na Tabela 9 utilizada como modelo de ficha para identificação do VSA.

Para o segmento do Km 144 até o km 145, foi atribuído o valor de serventia de 1,5, considerando os problemas avaliados, com grau de severidade entre médio e alto, para os defeitos: afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, recapeamento executado sem a devida limpeza (sobre objetos), escorregamento, remendo no revestimento com deterioração, exsudação, trincas em bloco, panela e corrugação.

A avaliação do trecho entre o Km 145 a Km 146 demonstrou novamente que o nível de serventia do trecho analisado é ruim, com o valor de 2,0 conforme os defeitos apresentados: afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, trincas em bloco,

escorregamento, remendo no revestimento com deterioração, trinca transversal, desnível ente a pista e o acostamento, revestimento com polimento dos agregados e exsudação, com níveis de médio e alto grau de severidade.

Tabela 13 – Ficha VSA - Km 143 à Km 144.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 143 / Km 144



**Escorregamento do Revestimento**



**Panelas**



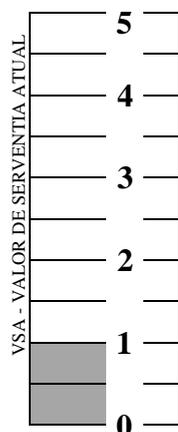
**Remendo do Revestimento com deterioração**



**Trincas em Bloco**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

**1,0**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
 Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga;  
 Trinca Longitudinal;  
 Trinca Transversal;  
 Exsudação.

No segmento do Km 146 ao Km 147, foram apresentadas as seguintes patologias: desnível entre a pista e acostamento, escorregamento, trinca em bloco, exsudação, trinca longitudinal, afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, remendo no revestimento com deterioração, com níveis de severidade baixo médio e alto, concebendo o valor de avaliação de 2,0 como nível de serventia.

Ao longo do trajeto entre o Km 147 e Km 148, foi determinada a nota de 1,0 para o nível de serventia, onde foram encontrados defeitos como: afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, remendo no revestimento com deterioração, desnível entre a pista e acostamento com trincamento nos bordos, trincas em bloco, trinca longitudinal, escorregamento do revestimento, painelas (como demonstrada na Figura 21) e corrugação, com níveis de severidade com grau entre médio e alto.

Figura 24 - Painela com nível de severidade alto – Km 147/km148.



Fonte: Autor

Entre os Km148 e Km 149 as patologias inventariadas foram remendos no revestimento com deterioração, afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, desnível entre a pista e acostamento e trinca longitudinal, com nível de severidade alto, e nível de serventia de 2,5 de acordo com a avaliação.

No Km 149 até o fim do trecho analisado Km 149,9 a intersecção com a BR-184, apresentaram as seguintes patologias no pavimento: remendos no revestimento com deterioração, trincas em bloco, corrugação e afundamento nas trilhas de roda por fadiga com desagregação, com níveis de severidade variando entre baixo, médio e alto, com isso foi determinado com base no VSA, o nível de serventia de 2,0 para o este segmento.

Após as análises do trecho completo, considerando valor de serventia atual, demonstrados em fotografias e tabelas (todas as fichas de VSA do trecho segmentado estão nos Apêndices deste estudo), o valor médio do nível de serventia atual é encontrado conforme a equação 01, que é a relação entre o somatório dos níveis de serventia deste seguimento pelo numero de seguimentos estudados, demonstrado na Tabela 09 concebendo o valor médio total de 1,83, indicando que o trecho analisado é considerado ruim, conforme definido na Tabela 06 (resumo das patologias e nível de severidade por segmentos vide Apêndice 01), sendo assim se estado de conservação atual requer reparos e manutenção de seu revestimento e eventualmente em sua estrutura.

Tabela 14 - Valor de Serventia Atual Médio BR-491 – Km 138 a 149,90.

<b>Trecho (Km)</b>	<b>Nível de Serventia</b>
138,0 a 139,0	2,0
139,0 a 140,0	1,5
140,0 a 141,0	2,0
141,0 a 142,0	2,5
142,0 a 143,0	2,0
143,0 a 144,0	1,0
144,0 a 145,0	1,5
145,0 a 146,0	2,0
146,0 a 147,0	2,0
147,0 a 148,0	1,0
148,0 a 149,0	2,5
149,0 a 149,9	2,0
<b>Valor de Serventia Atual Médio</b>	<b>1,83</b>

Fonte: Autor (2017).

Para verificar as condições o pavimento atual, foram coletadas amostras do revestimento asfáltico por todo o trecho analisado para a execução de ensaios de laboratório, conforme Figura 21, com o intuito de conceder um diagnóstico com maior precisão em relação ao nível de serviço da rodovia e possíveis causas da deterioração do pavimento, foram realizados:

- a) Ensaio de Extração de Betume, DNER ME 053/94, referida no item 3.1.4;
- b) Ensaio de Granulometria, contida na Norma DNIT 031/2006, citada no item 3.1.4.

Com as amostras em laboratório, seguindo as premissas descritas no método de ensaio DNER ME 053/94 e tendo como parâmetro de comparação a composição da mistura asfáltica a Faixa C do DNIT, conforme Tabela 04, usualmente utilizada como pista de rolamento em rodovias, para determinação do Teor de Betume foram executados os ensaios com as

amostras, sendo utilizadas duas amostras, a Amostra 1 com revestimento do pavimento antigo e a Amostra 2 proveniente das recomposições e recapeamentos executados na rodovia, demonstrados na Figura 22.

Figura 25 - Procedimento 1 - Ensaio da Extração de Betume em CBUQ.



a) Amostras Coletadas; b) Amostra 1 – Revestimento do pavimento antigo; c) Amostra 2 – Revestimento proveniente de recapeamento e recomposições; d) CBUQ desagregado pronto para execução do ensaio.

Fonte: Autor (2017).

Após o aquecimento das amostras e desagregação dos elementos que compõem a mistura asfáltica, é retirada as amostras para pesagem e posterior retirada do betume, utilizando o aparelho Rotarex, um aparelho extrator centrífugo por meio de solvente, a Figura 23, demonstra estes procedimentos, enquanto a Tabela 11 indica os resultados obtidos.

Tabela 15 - Extração do Teor de Betume.

<b>Extração De Betume De Massa Asfáltica</b>		
<b>Amostra N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Prato + Papel (P1)	119,5	115,16
Prato + Papel + Amostra (P2)	689,9	907,5
Amostra (P2-P1)	570,4	792,34
Prato + Papel + Agregado (P3)	659,3	869,7
Agregado (P3-P1)	539,8	754,54
Ligante (P2-P3)	30,6	37,8
Teor de Betume $\left( \frac{P2 - P3}{P2 - P1} \times 100 \right)$	5,36	4,77
<b>TEOR MÉDIO ENTRE AMOSTRAS</b>	<b>5,07%</b>	

Fonte: Autor (2017).

Figura 26 - Procedimento 2 - Ensaio da Extração de Betume em CBUQ.



- a) Após pesagem, colocação do CBUQ e Solvente no Rotarex;
- b) Colocação do Prato de Papel, utilizado para retenção dos materiais;
- c) Imagem do Rotarex em funcionamento;
- d) Agregados no Rotarex após a extração do betume;
- e) Filtro de Papel colocado em estufa para retirada da umidade;
- f) Retirada da umidade dos agregados para a pesagem final.

Fonte: Autor (2017).

Pela relação da diferença entre a massa inicial e a massa final, determinasse o teor de betume, onde a média encontrada foi de 5,07%. Com isso, podemos constatar que o motivo para as patologias encontradas no revestimento não é pelo baixo teor de CAP, pois segundo BALBO (Tabela 03) e o próprio de DNIT (Tabela 04), o teor de asfalto a considerado deve estar entre 4,5% a 9,0%.

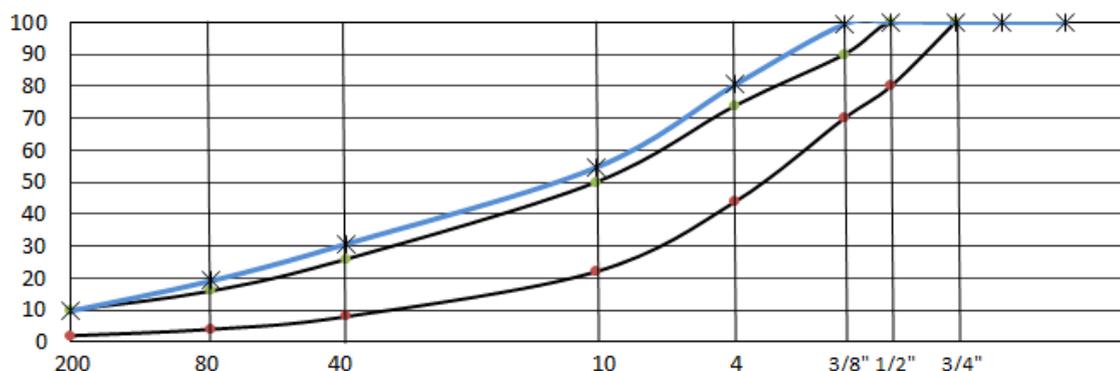
Posteriormente ao ensaio de extração de betume, foi realizado a análise granulométrica das amostras para determinar o traço, tendo em vista, que a porcentagem requerida deve estar enquadrada dentro da faixa de referência, neste caso sendo comparada com a Faixa C DNIT. A Tabela 12 demonstra os resultados obtidos para a amostra, bem como o Gráfico 01 que ilustra como os resultados se encaixam dentro da faixa.

Tabela 16 - Granulometria após extração do Betume – Amostra 1.

<b>Granulometria Após Extração</b>				
<b>PENEIRAS</b>	<b>RETIDO</b>	<b>Passado</b>	<b>% Passado</b>	<b>Faixa C DNIT</b>
<b>2"</b>	0	539,8	100,00%	100
<b>1 1/2"</b>	0	539,8	100,00%	100
<b>1"</b>	0	539,8	100,00%	100
<b>3/4"</b>	0	539,8	100,00%	100
<b>1/2"</b>	0	539,8	100,00%	80 -100
<b>3/8"</b>	3,2	536,6	99,41%	70 -90
<b>Nº 4</b>	101,68	434,92	80,57%	44 - 72
<b>Nº 10</b>	140,65	294,27	54,51%	22 - 50
<b>Nº 40</b>	128,64	165,63	30,68%	8 - 26
<b>Nº 80</b>	62,2	103,43	19,16%	4 - 16
<b>Nº 200</b>	50,61	52,82	9,79%	2 -10

Fonte: Autor (2017).

Gráfico 1 - Granulometria - Faixa C DNIT – Amostra 1.



Fonte: Autor (2017).

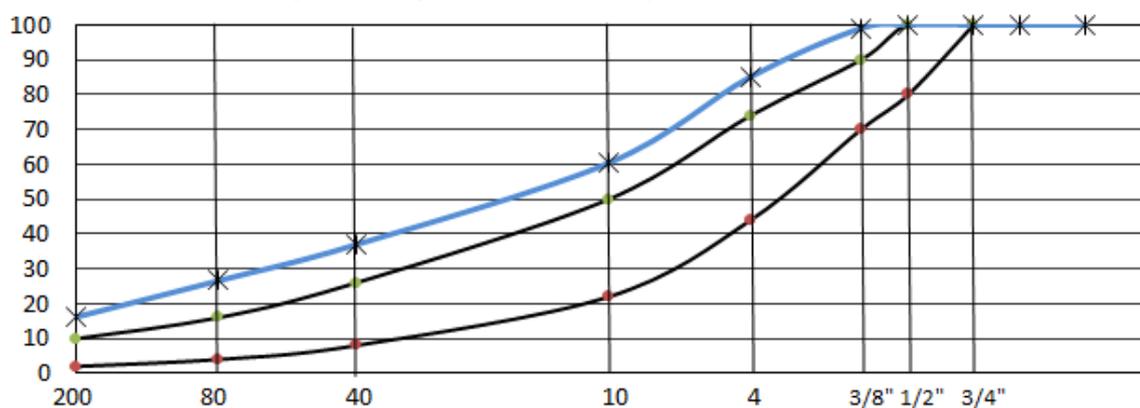
A Amostra 2 apresentou resultados semelhantes com a amostra anterior, ainda assim se colocando fora da Faixa C DNIT, a Tabela 13 demonstra os resultados obtidos e seu encaixe no Gráfico 2, ilustrando o traço da faixa granulométrica da amostra referida.

Tabela 17 - Granulometria após extração do Betume – Amostra 2.

<b>Granulometria Após Extração</b>				
<b>Peneiras</b>	<b>Retido</b>	<b>Passado</b>	<b>% Passado</b>	<b>Faixa C DNIT</b>
<b>2"</b>	0	754,54	100,00%	100
<b>1 1/2"</b>	0	754,54	100,00%	100
<b>1"</b>	0	754,54	100,00%	100
<b>3/4"</b>	0	754,54	100,00%	100
<b>1/2"</b>	0	754,54	100,00%	80 -100
<b>3/8"</b>	7,19	747,35	99,05%	70 -90
<b>Nº 4</b>	105,09	642,26	85,12%	44 - 72
<b>Nº 10</b>	186,55	455,71	60,40%	22 - 50
<b>Nº 40</b>	177,1	278,61	36,92%	8 - 26
<b>Nº 80</b>	77,8	200,81	26,61%	4 - 16
<b>Nº 200</b>	78,21	122,6	16,25%	2 -10

Fonte: Autor (2017).

Gráfico 2 - Granulometria Faixa C DNIT – Amostra 2.



Fonte: Autor (2017).

Quadro 2 - Resultados do Ensaio de CBR

<b>ENSAIO DE CBR</b>									
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - Ensaio realizado conforme DNER-ME 049/94							DATA: 12/07/2017		
OBRA:		TRECHO: <b>RODOVIA BR-491</b>			SUB-TRECHO: <b>KM 143</b>		REGISTRO:		
ESTACA:		FURO:	PROFUND.:	MATERIAL: <b>ARGILA</b>			ESTUDO:		
ANEL N.º		CONSTANTE: <b>0,118</b>		UMIDADE (%)					
PRESSÕES kg/cm2 PADRONIZADAS		0,1 POL.	0,2 POL.	Ponto	SECO		HOT.	SATURADO	
CILINDRO N.º		UMIDADE (%)		Cápsula n.º					
I.S.C. %				C + S + A (g)					
EXPANSÃO %		0,00	0,01	C + S (g) <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>					
C.B.R. (FINAL)		<b>12,70</b>		Água (g)					
EXPANSÃO (FINAL)		1,00%		Cápsulas (g)					
				Solo seco (g)					
				UMIDADE (%)					
				UMID.MÉDIA					
EXPANSÃO (%)									
PONTO	SECO		HOT.		SATURADO				
CILINDRO Nº									
LEITURA INICIAL	2,00		2,00		2,00				
LEITURA 24h									
LEITURA 48h									
LEITURA 72h									
LEITURA 96h	<b>2,02</b>		<b>2,12</b>		<b>2,09</b>				
DIFERENÇA	0,02		0,12		0,09				
EXPANSÃO %	<b>0,002</b>		<b>0,0100</b>		<b>0,0080</b>				
CILINDRO N.º : <b>1,00</b>				ORDEM: <b>SECO</b>					
PENETRAÇÃO							PRESSÃO kg/cm2	I.S.C.	
TEMPO	m.m.	POL.	LEITURA ANEL	DETER.	CORRIG.	%			
30 SEG.	0,63	0,025	<b>31</b>	3,35					
1 MIN.	1,27	0,050	<b>53</b>	5,72					
1,5 MIN.	1,90	0,075	<b>70</b>	7,56					
2 MIN.	2,54	0,100	<b>83</b>	8,96					<b>12,70</b>
3 MIN.	3,81	0,150	<b>98</b>	10,58					
4 MIN.	5,08	0,200	<b>116</b>	12,53					<b>11,90</b>
6 MIN.	7,62	0,300							
8 MIN.	10,15	0,400							
10 MIN.	12,70	0,500							
CILINDRO N.º : <b>2,00</b>				ORDEM: <b>HOT</b>					
PENETRAÇÃO							PRESSÃO kg/cm2	I.S.C.	
TEMPO	m.m.	POL.	LEITURA ANEL	DETER.	CORRIG.	%			
30 SEG.	0,63	0,025	<b>24</b>	2,59					
1 MIN.	1,27	0,050	<b>40</b>	4,32					
1,5 MIN.	1,90	0,075	<b>51</b>	5,51					
2 MIN.	2,54	0,100	<b>64</b>	6,91					<b>9,80</b>
3 MIN.	3,81	0,150	<b>82</b>	8,86					
4 MIN.	5,08	0,200	<b>105</b>	11,59					<b>11,00</b>
6 MIN.	7,62	0,300							
8 MIN.	10,15	0,400							
10 MIN.	12,70	0,500							
CILINDRO N.º : <b>3,00</b>				ORDEM: <b>SATURADO</b>					
PENETRAÇÃO							PRESSÃO kg/cm2	I.S.C.	
TEMPO	m.m.	POL.	LEITURA ANEL	DETER.	CORRIG.	%			
30 SEG.	0,63	0,025	<b>18</b>	1,95					
1 MIN.	1,27	0,050	<b>33</b>	3,56					
1,5 MIN.	1,90	0,075	<b>46</b>	4,97					
2 MIN.	2,54	0,100	<b>55</b>	5,94					<b>8,40</b>
3 MIN.	3,81	0,150	<b>74</b>	7,99					
4 MIN.	5,08	0,200	<b>87</b>	9,40					<b>8,90</b>
6 MIN.	7,62	0,300							
8 MIN.	10,15	0,400							
10 MIN.	12,70	0,500							
OBSERVAÇÕES:									
RESPONSÁVEL PELO ENSAIO: <b>SAMUEL SILVA MORAES</b>									

Fonte: Autor (2017)

De acordo com os ensaios granulométricos, as amostras se mostraram com suas frações de porcentagens fora da Faixa C DNIT, utilizada como parâmetro, mostrando se uma massa com maior quantidade de agregados miúdos e finos, porém não podemos afirmar que esta composição de CBUQ não atende aos requisitos estipulados em projeto ou esta incoerente com o revestimento solicitado para esta rodovia, em razão de que para tal análise seria necessário ter acesso ao projeto da mistura asfáltica utilizada na eventual pavimentação e seria essencial a execução de ensaios mais específicos.

Tendo em vista o dimensionamento do pavimento foram coletadas amostras do material predominante na região para a determinação do CBR, com o intuito definir o índice de suporte suportado pelo subleito, sendo o ponto de partida para dimensionar a espessura total do pavimento e suas respectivas camadas, demonstrado no Quadro 2, onde podemos analisar os valores para o material seco, umidade ótima (HOT) e saturado.

## 6 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 e até mesmo por estar em vigência a autorização de serviço para a restauração da Rodovia em análise. Ainda assim, o trecho em questão sofre de carência de conservação e restauração, devido aos fatos demonstrados, para a melhoria do nível de serviço oferecido atualmente alguns itens serão levantados e a sua devida proposta de solução.

Tendo como objetivo a restauração visando o menor custo para execução será proposto a troca de todo o revestimento do trecho analisado, considerando a fresagem e remoção do revestimento com posterior recapeamento.

Outra opção, visando o Volume Médio Diário Anual (VMDA) futuro, conforme determinado para os próximos 10 (dez) anos, será a remoção de todo o pavimento existente e execução de um novo pavimento estruturado conforme dimensionamento a ser realizado através de seus estudos.

### 6.1 Estudos de tráfego

Para o estudo de tráfego do trecho, foram utilizados os dados disponibilizados pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER/MG), demonstrado na Tabela 14, estas informações serviram de base para compor o estudo de tráfego da BR-491, entre Monte Belo e Areado, tendo como base o ano de 2008, pois nesse ano foi realizado o estudo de tráfego que definiu o VMDA de 3.885 veículos. Por meio deste estudo é possível definir a série histórica necessária para projetar o valor da taxa de crescimento para definição do tráfego futuro.

Tabela 18 - Volume Diário Anual da BR-491 entre os Km 138 a 149,9.

Trecho	Categoria	Revest.	Passeio	Coletivo	Carga Média	Carga Pesada	Articulado	VMDA
<b>BR 491 KM 138 / KM 149,9</b>	PAV	CBUQ	3267	54	187	250	127	3885

Fonte: DER (2008).

Em um estudo realizado pelo DNIT, estimou que o VMDA para o trecho em análise foi de 4.330 veículos por dia, deste modo é possível definir uma taxa de crescimento para o ano vigente e para os próximos 10 anos.

O Manual de Estudo de Tráfego, DNIT (2006) determina, o método definido para os cálculos foi o Método Exponencial, onde o fator de correção é a relação entre o volume para o ano de 2009 e o volume para o ano de 2008, sendo  $t$  (taxa de crescimento) = 11,455%, conforme demonstrado abaixo:

$$t = \frac{VMDA_f}{VMDA_i} \times 100 \quad \therefore \quad t = \frac{4330}{3885} \times 100 = 11,1455\%$$

Contudo, devido à reduzida quantidade de dados disponíveis do VMDA e a taxa de crescimento calculada pode ser considerado alta, conforme explana o DNIT (2006), as taxas de crescimento anuais de variação para o método exponencial são relativamente lentas, sendo comum adotar a taxa de 3%, valor próximo à taxa de crescimento econômico do país, sendo assim a taxa adotada será a média entre a calculada e a indicada pelo DNIT, equivalente à taxa de 7,228% ao ano evitando que o pavimento seja superdimensionado.

$$\text{taxa de crescimento(adotada)} = \frac{(11,455 + 3)}{2} = 7,228\%$$

A projeção estimada para o ano vigente (2017), utilizando o fator de correção já encontrado, o VMDA é de 7.570 veículos por dia, conseqüentemente o valor de tráfego para os próximos 10 anos será de 15.212 veículos por dia, portanto, este é o valor do VMDA que será considerado para o dimensionamento do pavimento, conforme ilustra a Tabela 19.

Tabela 19 - Projeção do VMDA.

Ano	VMDA	Taxa de Crescimento
2008	3.885	-
2009	4.330	11,455%
2010	4.643	7,228%
2011	4.979	7,228%
2012	5.339	7,228%
2013	5.725	7,228%
2014	6.139	7,228%
2015	6.583	7,228%
2016	7.059	7,228%
2017	7.570	7,228%
...		
<b>2027</b>	<b>15.212</b>	<b>7,228%</b>

Fonte: Autor (2017).

## 6.2 Dimensionamento do Pavimento Flexível

Com base nos estudos realizados e para viabilizar a execução do novo pavimento, desenvolveu-se a estrutura que suporte os esforços solicitantes dos veículos detalhando-o de forma econômica e que atenda as condições de conforto e segurança para os usuários.

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 dimensionamento do pavimento flexível foi embasado nas características de suporte do solo de fundação, materiais constituintes do pavimento, volume e tipo de tráfego, para tal procedimento, deve-se determinar a espessura total necessária para o pavimento com base na resistência do subleito, especificação do material granular e o tráfego, determinando também a espessura mínima do revestimento betuminoso.

O pavimento será dimensionado, considerando a vida útil de projeto para 10 anos, utilizando como base os valores calculados no Estudo de Tráfego, tendo como objetivo determinar o número N, sendo este o número de solicitações que será empregado ao pavimento, determinado de acordo com as seguintes etapas:

- a) Volume de Tráfego para um sentido, utilizando o VMDA do ano vigente:

$$V_m = \frac{7570 \times [2 + (10 - 1)7,228/100]}{2} \quad \therefore V_m = 10.033 \text{ Veículos.}$$

- b) Determinação do Fator de Veículo, desprezando automóveis, ônibus e veículos de carga leve:

Tabela 20 - Fator de Veículo

Classe	Tipo de Veículo	nº de Eixos	ES / RS	RD	TD	TT	Número de Veículos	%	Fator de Veículo (FV)	
2C	1 ES + 1 RD	2	0,25	3,00	-	-	483	33,16%	1,08	
3C	1 ES + 1 TD	3	0,25	-	8,50	-	646	44,33%	3,88	
2S1	1 ES + 1 RD + 1 RD	3	0,25	6,00	-	-	83	5,70%	0,36	
2S2	1 ES + 1 RD + 1 TD	4	0,25	3,00	8,50	-	184	12,63%	1,48	
2S3	1 ES + 1 RD + 1 TT	5	0,25	3,00	-	9,00	35	2,40%	0,29	
3S2	1 ES + 1 TD + 1 TD	5	0,25	-	17,0	-	18	1,24%	0,21	
3S3	1 ES + 1 TD + 1 TT	6	0,25	-	8,50	9,00	8	0,55%	0,10	
							$\Sigma$	1457	100%	<b>7,40</b>

Fonte: Autor (2017).

c) Fator de Climático Regional:

Conforme indicado pelo Manual de Tráfego DNIT (2006), valor adotado para  $FR = 1,0$ .

d) Fator Direcional (c)

Conforme Tabela 21,  $c = 50\%$  ou  $0,5$ .

e) Cálculo de N ( $N = Vt \times 365 \times P \times FV \times FR \times C$ ):

Tabela 21 - Cálculo do Número N

Nº de Veículos	Quant. Dias /Ano	Período (anos)	FV	FR	c	Número "N"
1.457	365	10	7,40	1,00	0,50	19.680.885,28 <b>1,97x10<sup>7</sup></b>

Fonte: Autor (2017).

f) Espessura do Revestimento Betuminoso.

De acordo com a definição de N, a espessura do revestimento adotado segundo a Tabela 12, foi 10 centímetros.

$$10^7 < \mathbf{1,97 \times 10^7} \leq 5 \times 10^7 = \mathbf{\text{Concreto Betuminoso com 10,0 cm de espessura}}$$

g) Camadas do Pavimento.

Para a determinação da espessura total do pavimento, foram coletadas amostras de material para definir se o material existente na região e, conseqüentemente, no pavimento atual detém o CBR necessário para compor o subleito, o valor de CBR para o dimensionamento será adotado 9,8 obtendo um fator de segurança razoável para valor máximo do CBR de 12,7.

h) Espessuras das camadas do Pavimento

Espessura total, calculado conforme equação demonstrada na Figura 20.

$$Ht = 77,67 \times (1,97 \times 10^7)^{0,0482} \times 9,8^{-0,598} \therefore Ht = 44,57 \text{ cm}$$

**Adotado 45 cm.**

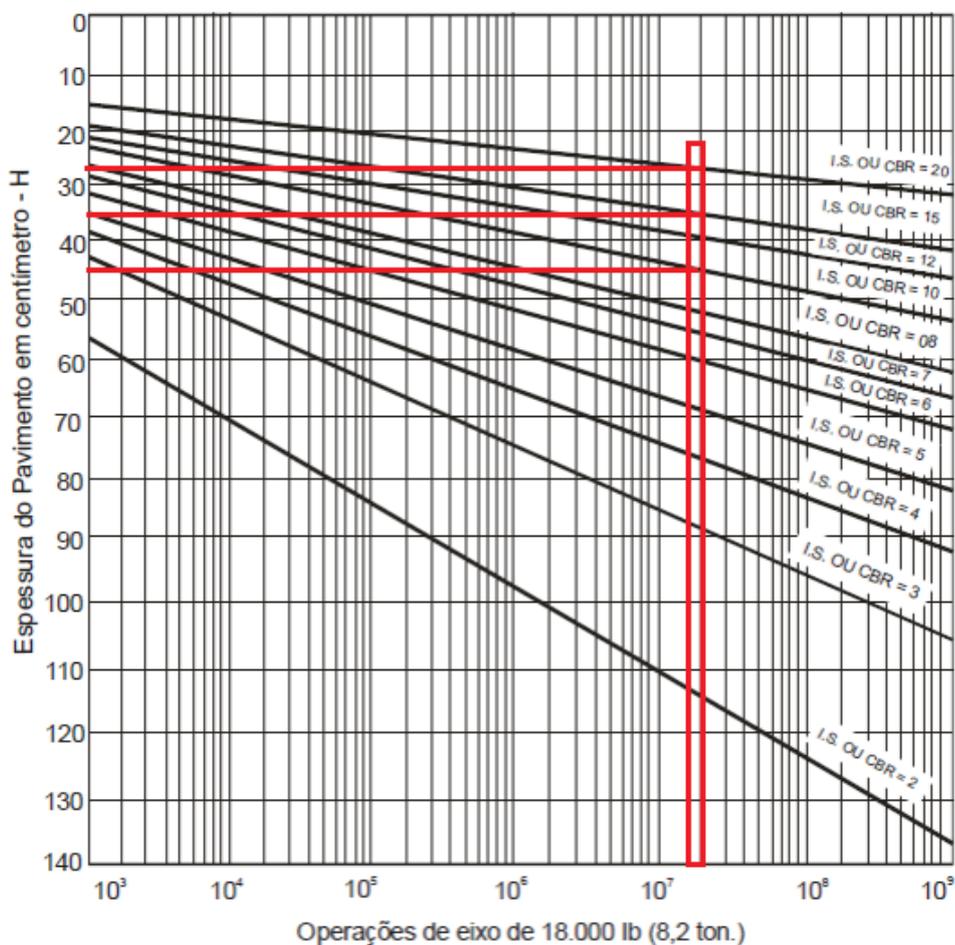
Coefficientes adotados conforme Tabela 10.

- Revestimento em concreto betuminoso:  $K = 2,00$
- Base granular:  $K = 1,0$
- Sub-base granular:  $K = 1,0$
- CBR do subleito = 9%

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 19.

- $H_{20} = 29,09$  cm
- $H_{15} = 34,56$  cm
- $H_9 = 46,97$  cm

Figura 27 - Determinação de  $H_{20}$ ,  $H_{15}$  e  $H_9$ .



Fonte: Autor (2017).

### Espessura de Base

$$RK_R \times BK_B \geq H_{20} \therefore 10 \times 2 + B \times 1 \geq 29,09 \therefore B = 9,09 \text{ cm}$$

**Adotado espessura mínima 15 cm.**

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

### Espessura de Sub-Base

$$RK_R \times BK_B \times h_{20} K_S \geq H_n \therefore 10 \times 2 + 15 \times 1 + h_{20} \times 1 \geq 34,56 \therefore B = -0,44 \text{ cm}$$

Camada indispensável em Rodovias, conforme DNIT (2006).

**Adotado espessura mínima 15 cm.**

Material: Mistura composta por Solo-Brita na proporção de 70 : 30 (volume), com espessura de 15,0 cm.

### Espessura de Reforço e Subleito

$$RK_R \times BK_B \times h_{20} K_S \times h_n K_{Ref} \times 1 \geq H_n \therefore 10 \times 2 + 15 \times 1 + 15 \times 1 + h_n \times 1 \geq 46,90$$

$$h_n = -3,10 \text{ cm}$$

Não necessário a camada de reforço do subleito.

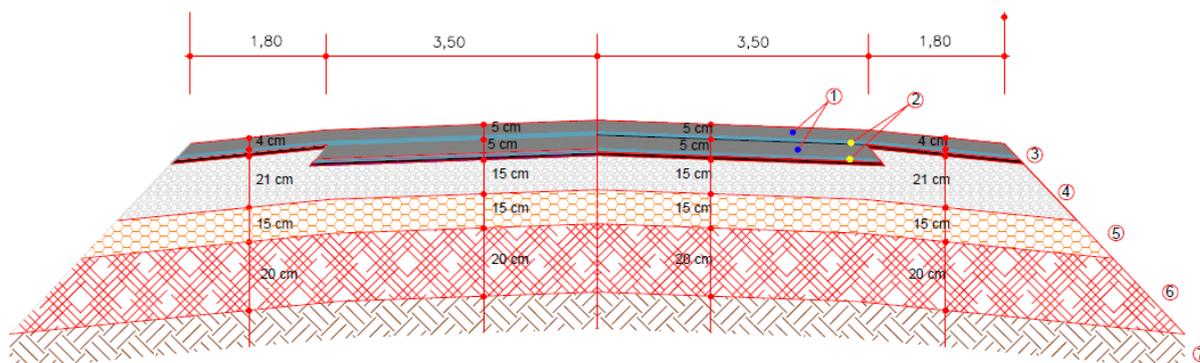
**Subleito adotado para tratamento de 20 cm.**

Portanto, as camadas originaram um pavimento com espessura total igual a 40 cm, menor que o solicitado inicialmente, isto ocorre devido à camada de revestimento adotada de concreto betuminoso possuir o coeficiente estrutural igual a 2, reforçando e reduzindo a camada total necessária do pavimento.

De acordo com o dimensionamento apresentado segue-se as camadas da seção transversal do pavimento projetado ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Seção Tipo do Pavimento Dimensionado.

## SEÇÃO TIPO DE PAVIMENTAÇÃO

PISTA PRINCIPAL  
Km 138,0 ao Km 149,9

## LEGENDA:

- 1- Revestimento em CBUQ
- 2- Pintura de Ligação
- 3- Imprimação
- 4- Base
- 5- Sub-base
- 6- Subleito
- 7- Solo Natural

Fonte: Autor (2017).

### 6.3 Orçamentos

Considerando a seção transversal do pavimento dimensionado, serão consideradas duas hipóteses para a restauração do nível de serviço, tendo em vista a viabilização das execuções. Os orçamentos foram compostos com base nos valores comerciais atuais, com base nos índices de execução disponibilizados pelo DNIT juntamente com a tabela do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) e aos índices aplicados usualmente por empresas do ramo pavimentação.

Para uma opção com maior viabilidade econômica, foi desenvolvido a composição para os serviços de remoção do revestimento existente através de equipamentos de fresagem, para a aplicação de um novo revestimento, com base no dimensionamento futuro com a espessura de 10 centímetros. O Quadro 3, demonstra os valores dos itens e as composições unitárias se encontram nos Apêndices N, O, P e Q, considerou-se o BDI de 24,23% de acordo com limite máximo proposto pelo Acórdão 2622/13 do Tribunal de contas da União (TCU).

Quadro 3 - Planilha de Custos Remoção e Aplicação do Revestimento.

ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE	UN	VALOR UN	VALOR TOTAL
<b>1</b>	<b>SERVIÇOS INICIAIS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Serviços iniciais</b>				
1.1.1	Serviços iniciais, Placas de Obra - DEER/MG, Canteiro / Área de Vivência / Escritório, Sinalização Provisória, Uniformes.	1,00	vb	209.491,20	209.491,20
<b>2</b>	<b>PAVIMENTO</b>				
<b>2.1</b>	<b>Fresagem</b>				
2.1.1	Fresa 0,10 m	106.707,30	m <sup>2</sup>	78,50	8.376.523,05
2.1.2	Pintura de ligação RR1C				
2.1.3	Capa em CBUQ Faixa C esp. 0,10 m				
2.1.4	Transporte de material fresado, DMT = 10 Km				
<b>3</b>	<b>SINALIZAÇÃO</b>				
<b>3.1</b>	<b>Sinalização Horizontal / Vertical</b>				
3.1.1	Sinalização	1,00	vb	377.921,69	377.921,69
<b>Valor de Custo Total Estimado</b>					<b>8.963.935,94</b>
<b>BDI</b>					<b>24,23%</b>
<b>Valor total Estimado com BDI</b>					<b>11.135.897,62</b>

O Quadro 4, descreve resumidamente os equipamentos e itens considerados para a execução destes serviços.

Quadro 4 - Resumo Equipamentos e Serviços considerados.

<b>QUADRO RESUMO</b>			
<b>FRESAGEM</b>			
Item	Descrição	Unid.	Quantidade
<b>1</b>	<b>Equipamentos</b>		
1.1	Caminhão tanque	un	2
1.2	Pá Carregadeira	un	2
1.3	Caminhão Truck	un	20
1.4	Fresadora à Frio	un	4
1.5	Mini Carregadeira c/ Vassoura	un	2
<b>2</b>	<b>Serviços</b>		
2.1	DMT para Bota Fora	km	10
<b>Revestimento em CBUQ</b>			
<b>3</b>	<b>Equipamentos</b>		
3.1	Rolo Compactador Pata	un	2
3.2	Rolo Compactador Chapa	un	2
3.3	Caminhão Truck	un	20
3.4	Caminhão Espargidor	un	3
3.5	Acabadora	un	2
3.6	Rolo Pneu	un	2
3.7	Caminhão de Transporte	un	2
<b>4</b>	<b>Serviços</b>		
4.1	DMT Usina CBUQ	km	30
<b>Tempo de Execução Estimado</b>			
Fresagem		dia	23
Pavimentação		dia	99
<b>Tempo Total Estimado</b>		<b>dia</b>	<b>122</b>

Fonte: Autor (2017).

Com o pavimento dimensionado para o período de 10 anos além do ano vigente, propôs-se também a demolição de todo o pavimento existente até a sua camada de subleito, garantindo que o nível de serventia seja restaurado e o pavimento esteja preparado para atender a demanda futura. Os orçamentos seguiram os mesmos parâmetros do anterior, porém, estimando os elementos de drenagem, uma vez que o pavimento demolido e rebaixado, poderá apresentar avarias ao longo deste processo, o Quadro 5, demonstra a estimativa de custos para esta segunda hipótese.

Quadro 5 - Planilha de Custos Demolição do Pavimento e Pavimentação.

ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE	UN	VALOR UN	VALOR TOTAL
<b>1</b>	<b>SERVIÇOS INICIAIS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Serviços iniciais</b>				
1.1.1	Serviços iniciais, Placas de Obra - DEER/MG, Canteiro / Área de Vivência / Escritório, Sinalização Provisória, Uniformes.	1,00	vb	123.786,16	123.786,16
<b>2</b>	<b>DEMOLIÇÃO DO PAVIMENTO</b>				
2.1	Demolição de pavimento Flexível	48.018,29	m <sup>3</sup>	12,95	621.836,86
2.2	Bota fora				
2.3	Transporte DMT 10 km				
2.4	Carga/Descarga				
2.5	Espalhamento material				
<b>3</b>	<b>DRENAGEM</b>				
<b>3.1</b>	<b>Saída d'água</b>				
3.1.1	Descida d'água em degraus	119,00	un	2.008,27	238.983,65
<b>3.2</b>	<b>Drenagem Superficial</b>				
3.2.1	Sarjeta STC 07	15.470,00	m	37,74	583.899,68
3.2.2	Meio Fio (canteiros)	952,00	m	42,11	40.090,62
<b>4</b>	<b>PAVIMENTAÇÃO</b>				
<b>4.1</b>	<b>Pista de Rolamento</b>				
4.1.1	Regularização Subleito 0,30 m	106.707,30	m <sup>2</sup>	95,83	10.225.760,56
4.1.2	Sub base (solo brita) 0,15 m				
4.1.3	Base (brita graduada simples) 0,15 m				
4.1.4	Imprimação CM30				
4.1.5	Pintura de ligação RR1C				
4.1.6	Revestimento CBUQ Faixa C 0,10 m				
<b>4.2</b>	<b>Acostamento</b>				
4.2.1	Regularização Subleito 0,30 m	2.852,15	m <sup>2</sup>	75,22	214.538,72
4.2.2	Sub-base (solo brita) 0,15 m				
4.2.3	Base (brita graduada simples) 0,21 m				
4.2.4	Imprimação CM30				
4.2.5	Pintura de ligação RR1C				
4.2.6	Revestimento CBUQ Faixa C 0,04 m				
<b>5</b>	<b>SINALIZAÇÃO</b>				
<b>5.1</b>	<b>Sinalização Horizontal / Vertical</b>				
5.1.1	Sinalização	1,00	vb	377.921,69	377.921,69
<b>Valor de Custo Total Estimado</b>					<b>12.426.817,94</b>
<b>BDI</b>					<b>24,23%</b>
<b>Valor total Estimado com BDI</b>					<b>15.437.835,93</b>

Fonte: Autor (2017).

O Quadro 6 demonstra o resumo dos equipamentos e itens considerados para a execução destes serviços.

Quadro 6 - Resumo Equipamentos e Serviços considerados.

<b>QUADRO RESUMO</b>			
<b>Demolição do Pavimento</b>			
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quantidade</b>
<b>1</b>	<b>Equipamentos</b>		
1.1	Pá Carregadeira	un	2
1.2	Escavadeira	un	4
1.3	Caminhão Truck	un	20
<b>2</b>	<b>Serviços</b>		
2.1	DMT para Bota Fora	km	10
<b>Pavimentação</b>			
<b>3</b>	<b>Equipamentos</b>		
3.1	Patrol	un	4
3.2	Rolo Compactador Pata	un	4
3.3	Trator de Pneus com Grade	un	4
3.4	Caminhão Pipa	un	4
3.5	Pá Carregadeira	un	4
3.6	Rolo Compactador Chapa	un	4
3.7	Caminhão Truck	un	20
3.8	Caminhão Espargidor	un	3
3.9	Acabadora	un	2
3.10	Rolo Pneu	un	2
3.11	Caminhão de Transporte	un	2
<b>4</b>	<b>Serviços</b>		
4.1	DMT Empréstimo Argila	km	5
4.2	DMT Brita Graduada	km	30
4.3	DMT Usina CBUQ	km	30
<b>Tempo de Execução Estimado</b>			
Demolição		dia	12
Pavimentação		dia	172
<b>Tempo Total Estimado</b>		<b>dia</b>	<b>184</b>

Fonte: Autor (2017).

Comparando-se as duas soluções, a opção que se mostrou economicamente mais viável foi a troca do revestimento por fresagem e aplicação de um revestimento novo, sendo a diferença estimada de R\$ 4.301.938,32 (Quatro milhões, trezentos e um mil, novecentos e trinta e oito reais e trinta e dois centavos) e tempo de duração com 62 dias a menor que a outra opção de demolição do pavimento e nova execução conforme dimensionado.

Por tratar-se de uma obra custeada com recursos públicos a opção citada tem o valor e prazo de execução menor, na qual seria a opção mais viável, porém haverá melhorias nos níveis de serventia apenas para as condições atuais. Tendo em vista o tráfego futuro, esta opção não se mostrará efetiva em suportar os esforços solicitantes, causando desgaste e avarias no revestimento, outro fator determinante são as camadas inferiores, que podem estar prejudicadas devido aos problemas atuais.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados impostos durante toda a pesquisa e a realização do trabalho, foram analisados e realizados os ensaios para controle tecnológico, sempre observando as especificações e regulamentações das normas técnicas, verificando a qualidade do asfalto aplicado na Rodovia BR-491 entre os Km 138 até o Km 149,9 entre as cidades de Monte Belo e Areado, os dados atribuídos em relação ao pavimento existente que demonstra a situação real de toda a estrutura.

Os resultados obtidos de acordo com a avaliação superficial das patologias mostram claramente que o trecho sofre por carência de conservação pela avaliação do Nível de Serventia Atual (VSA) em média de 1,83, considerado ruim, juntamente pelo crescimento e a intensidade dos veículos, o que resultou em um valor de crescimento de 7,228% ao ano, conforme dados obtidos pelo Volume Médio Diário Anual (VMDA) do trecho em estudo. Contudo, futuramente este trecho estará sofrendo maiores carregamentos e com maior intensidade em sua estrutura devido ao crescimento anual do fluxo de veículos.

Este estudo demonstrou por meio de análises laboratoriais, registros fotográficos, que o trecho em estudo necessita urgentemente de restaurações, manutenções e conservações visto que a situação real está bem crítica, promovendo aos usuários risco de segurança, conforto e economia. Outro fator preponderante para a degradação do pavimento existente é a ausência de fiscalização ou balanças que efetuem o controle do tráfego de veículos de carga, assim admitindo que os mesmos trafeguem com cargas maiores que o permitido, reduzindo assim a vida útil do pavimento.

O trecho em análise está sob a jurisdição do DEER/MG e ao longo do estudo foi constatado que o pavimento ultrapassou o prazo de sua vida útil, até mesmo em razão de que o segmento, já está licitado e com liberação para a restauração e conservação por consórcios privados, em vigor desde 05/2014 até 05/2018. Durante a avaliação in loco, foi verificado que algumas melhorias foram feitas, porém, não o suficiente e nem com a qualidade necessária para que a rodovia estivesse em condições adequadas.

Com os resultados obtidos e devido ao fato da grande maioria do revestimento estar condenado será necessária a substituição, tendo como base a primeira proposta de remoção do revestimento e nova aplicação conforme a projeção do tráfego futuro com 10 cm de CBUQ Faixa C DNIT, aplicado em duas camadas, esta opção se mostrou com maior viabilidade econômica, porém, o fator preponderante a ser analisado neste caso seria se toda a estrutura

do pavimento comportará o tráfego solicitado e não entraria em colapso, danificando e comprometendo novamente o nível de serviço do trecho diminuindo a sua vida útil.

Em termos de segurança e garantia para que o pavimento obtenha sua vida útil de projeto, a segunda proposta seria a mais viável, onde seria realizada toda a demolição do pavimento e execução de um novo pavimento conforme dimensionado, considerando as camadas de Subleito (20 cm), Sub-base (15 cm), Base (15 cm) e Revestimento em CBUQ Faixa C DNIT (10 cm, aplicados em duas camadas), economicamente esta opção se mostrou com valor mais elevado, cerca de 38,63%, contudo considerando a vida útil final do pavimento em relação a primeira proposta, esta opção pode ser considerada a com melhor custo benefício.

Portanto, como proposta de solução para a adequação do trecho em estudo será adotado o serviço de demolição do pavimento existente e execução do pavimento dimensionado (segunda proposta), com valor estimado de execução em R\$ 15.437.835,93 e prazo de execução para 184 dias de trabalho, esta é a solução que irá solucionar os danos atuais, suprir a demanda das carga proveniente do tráfego atual e futuro, restaurar o nível de serventia do trecho garantindo e proporcionando aos usuários o conforto e segurança ao longo do percurso.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu, **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração**. Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros**. Rio de Janeiro: PET ROBRAS: ABEDA, 2006.

CERATTI, J. A. P; NUÑES, W. P. **Projeto de Pesquisa CONCEPA - LAPAV: Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. Porto Alegre: 2011.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa Rodoviária**, 2007.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial. – 20. Ed.** Brasília : CNT : SEST : SENAT, 2016.

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 **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** - Procedimento NORMA DNIT 009 / 2003 - PRO. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

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 **Levantamento para avaliação da condição de superfície de sub trecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos** - Procedimento NORMA DNIT 007 / 2003 - PRO. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES  
**Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** - Procedimento NORMA DNIT 008 / 2003 - PRO. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

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 INFRAESTUTURA DE TRANSPORTES  
**Manual de Pavimentação**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

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

DOMINGUES, F. A. A. **MID – Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos asfálticos de Pavimentos**. São Paulo. 1993

GOOGLE MAPS – Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/dir/-21.363331,-46.2677791/-21.3708517,-46.1619449/@-21.3568283,-46.2466475,9556m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>>, acessado em 07 de maio de 2017.

MT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Misturas Betuminosas – porcentagem de betume** – Método de Ensaio DNER – ME 053/94. Rio de Janeiro, 1994.

MT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall** – Método de Ensaio DNER – ME 043/95. Rio de Janeiro, 1995.

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

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 380p. 1997.

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

RAMALHO, A. V. F. **Uma análise dos benefícios com a utilização do asfalto borracha nas rodovias do Brasil**. São Paulo, SP, 2009.

RODRIGUES, R. M. **Estudo do trincamento dos pavimentos**. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 208p. 2005.

SANTANA, H. **Manual de Pré-Misturados a Frio**. IBP/ Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ, 1993.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ªed. São Paulo, v.1, 1997.

SILVA, P.F. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**, 2ª ed. São Paulo: Pini, 2008. v.1.

## 9 APÊNDICES

Apêndice A - Quadro de Resumo das Patologias por segmentação nível severidade e serventia da Rodovia BR-491.

Trecho	Identificação das Patologias	Nível de Severidade	Nível de Serventia
138,0 a 139,0	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	2,0
	Desnível entre pista e acostamento	Alto	
	Trincas em bloco	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
	Trinca transversal	Baixo	
	Escorregamento	Médio	
	Trinca longitudinal	Alto	
139,0 a 140,0	Trinca longitudinal	Alto	1,5
	Desnível entre pista e acostamento com trincamento nos bordos	Alto	
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Panela	Alto	
	Trincas em Bloco	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
140,0 a 141,0	Desnível entre pista e acostamento com trincamento nos bordos	Alto	2,0
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Trincas em bloco	Baixo	
	Trinca transversal	Médio	
	Escorregamento	Alto	
141,0 a 142,0	Panela	Baixo	2,5
	Escorregamento	Médio	
	Trincas em bloco	Médio	
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Trinca Longitudinal	Médio	
	Remendo do revestimento com deterioração	Médio	
	Trincas em bloco	Alto	
	Desnível entre pista e acostamento com trincamento nos bordos	Médio	
142,0 a 143,0	Escorregamento	Alto	2,0
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Desnível entre pista e acostamento com trincamento nos bordos	Alto	
	Trincas em bloco	Alto	
	Panela	Alto	

143,0 a 144,0	Trinca longitudinal	Alto	1,0
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Panela	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
	Escorregamento	Alto	
	Trinca transversal	Médio	
	Trincas em bloco	Médio	
	Exsudação	Médio	
144,0 a 145,0	Escorregamento	Alto	1,5
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Recapeamento executado sem devida limpeza (sobre objetos)	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Médio	
	Exsudação	Médio	
	Panela	Baixo	
	Corrugação	Médio	
145,0 a 146,0	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	2,0
	Trincas em bloco	Alto	
	Escorregamento	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Médio	
	Trinca transversal	Médio	
	Revestimentos com polimento dos Agregados	Alto	
	Exsudação	Alto	
	Desnível entre pista e acostamento	Alto	
146,0 a 147,0	Trincas em bloco	Médio	2,0
	Escorregamento	Alto	
	Exsudação	Alto	
	Desnível entre pista e acostamento	Alto	
	Trinca longitudinal	Médio	
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Médio	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
147,0 a 148,0	Desnível entre pista e acostamento com trincamento nos bordos	Alto	1,0
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
	Trinca longitudinal	Alto	
	Trincas em bloco	Alto	
	Escorregamento	Alto	
	Panela	Alto	
	Corrugação	Médio	

148,0 a 149,0	Desnível entre pista e acostamento	Alto	2,5
	Trinca longitudinal	Médio	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
149,0 a 149,9	Corrugação	Médio	2,0
	Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga	Alto	
	Remendo do revestimento com deterioração	Alto	
	Trincas em bloco	Alto	
<b>Valor de Serventia Atual Médio do Trecho</b>			<b>1,83</b>

Fonte: Autor (2017).

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 138 / Km 139



**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga**



**Remendo do Revestimento com deterioração**



**Desnível entre a Pista e o Acostamento**

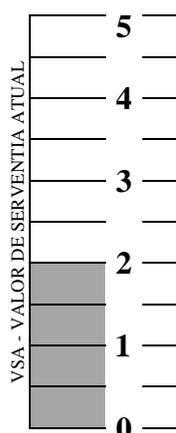


**Trinca Longitudinal**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

### Observações Técnicas:

**2,0**



ÓTIMO

BOM

REGULAR

RUIM

PÉSSIMO

CONCEITO

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Trincas em Bloco;  
Trinca Transversal;  
Escorregamento do Revestimento.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 139 / Km 140



**Remendo do Revestimento com deterioração**



**Panela**



**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga**



**Trinca Longitudinal**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

**1,5**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Desnível entre pista e acostamento com trincamento nos bordos;  
Trincas em bloco.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 140 / Km 141



**Trincas em Bloco**



**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga**



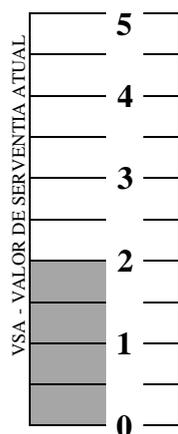
**Desnível entre a Pista e o Acostamento**



**Escorregamento do Revestimento**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

**2,0**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Trinca Transversal.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 141 / Km 142



**Escorregamento do Revestimento**



**Remendo do Revestimento com deterioração**



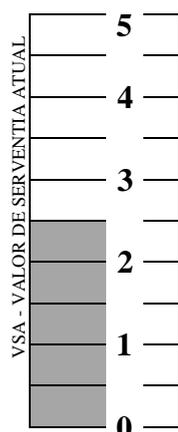
**Panela**



**Trinca Longitudinal**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

**2,5**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

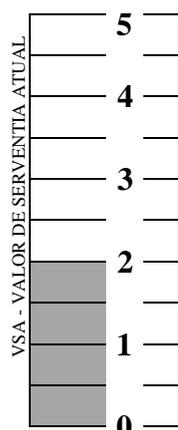
**PÉSSIMO**

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Desnível entre Pista e Acostamento com trincamento nos bordos;  
Trincas em bloco;  
Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga.

Apêndice F - Ficha de VSA - Km 142 à Km 143.

**VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL****Avaliador:** Samuel Silva Moraes**Data:** Abril/2017**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG**Trecho:** Km 142 / Km 143**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga****Escorregamento do Revestimento****Desnível entre a Pista e o Acostamento****Trincas em Bloco****Valor de Servientia Atual do Trecho****Observações Técnicas:****2,0****ÓTIMO****BOM****REGULAR****RUIM****PÉSSIMO****CONCEITO**

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Panela.

Fonte: Autor (2017).

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 143 / Km 144



**Escorregamento do Revestimento**



**Panelas**



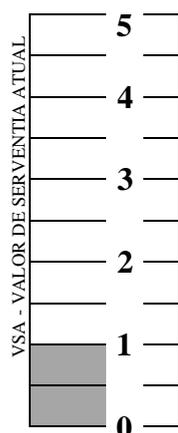
**Remendo do Revestimento com deterioração**



**Trincas em Bloco**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

**1,0**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
 Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga;  
 Trinca Longitudinal;  
 Trinca Transversal;  
 Exsudação.

## VSA - VALOR DE SERVENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 144 / Km 145



**Trincas em Bloco**



**Recapeamento executado sem devida limpeza (sobre objetos)**



**Remendo do Revestimento.**

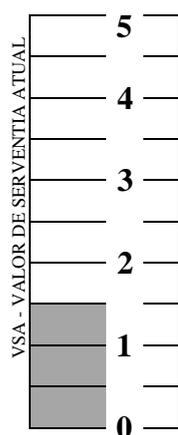


**Escorregamento do Revestimento**

### Valor de Serventia Atual do Trecho

### Observações Técnicas:

**1,5**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga;  
Corrugação;  
Panela;  
Exsudação.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 145/ Km 146



**Trinca Transversal**



**Trincas em Bloco**



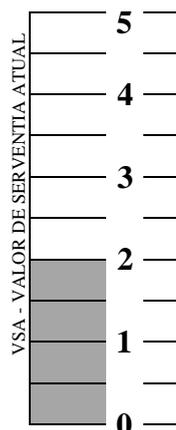
**Revestimento com Polimento dos Agregados**



**Exsudação**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

2,0



ÓTIMO

BOM

REGULAR

RUIM

PÉSSIMO

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
 Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga;  
 Escorregamento do Revestimento;  
 Remendo do revestimento com deterioração;  
 Desnível entre Pista e Acostamento.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 146 / Km 147



**Desnível entre a Pista e o Acostamento**



**Escorregamento do Revestimento**



**Remendo do Revestimento com deterioração.**

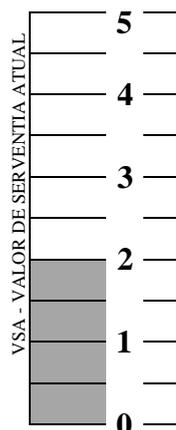


**Exsudação**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

### Observações Técnicas:

**2,0**



ÓTIMO

BOM

REGULAR

RUIM

PÉSSIMO

CONCEITO

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Trincas em Bloco;  
Trinca Longitudinal;  
Afundamento na trilha de roda com trincamento por fadiga.

## VSA - VALOR DE SERVENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 147 / Km 148



**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga**



**Remendo do Revestimento.**



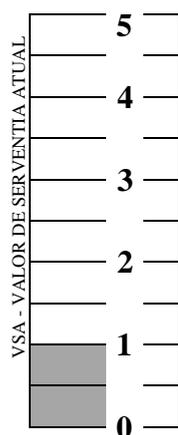
**Panela**



**Trinca Longitudinal**

### Valor de Serventia Atual do Trecho

**1,0**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

### Observações Técnicas:

Outras patologias apresentadas ao longo deste trecho:  
Desnível entre Pista e Acostamento com trincamento nos bordos;  
Escorregamento do revestimento;  
Corrugação;  
Trincas em Bloco.

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 148 / Km 149



**Desnível entre a Pista e o Acostamento**



**Remendo do Revestimento**



**Trinca Longitudinal**

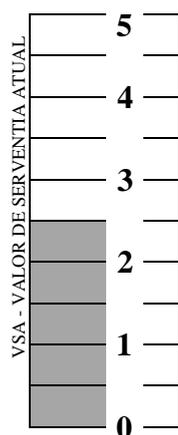


**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga**

**Valor de Servientia Atual do Trecho**

**Observações Técnicas:**

**2,5**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

**CONCEITO**

## VSA - VALOR DE SERVIENTIA ATUAL

**Avaliador:** Samuel Silva Moraes

**Data:** Abril/2017

**Rodovia:** MG - 491 - Monte Belo / MG à Areado / MG

**Trecho:** Km 149 / Km 149,9



**Trincas em Bloco**



**Afundamento nas trilhas de roda com trincamento por fadiga.**



**Remendo do Revestimento**

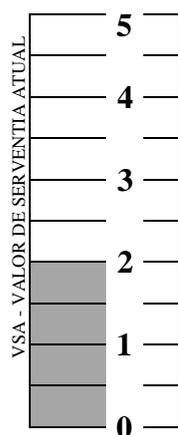


**Corrugação**

### Valor de Servientia Atual do Trecho

### Observações Técnicas:

**2,0**



**ÓTIMO**

**BOM**

**REGULAR**

**RUIM**

**PÉSSIMO**

CONCEITO

## Apêndice N - Composição de Custos Fresagem e Revestimento em CBUQ

COMPOSIÇÃO DE CUSTOS			
SERVIÇO			
Subleito, Sub-Base, Base, Imprimação, Pintura de Ligação e Revestimento			
Item	Descrição	Unidade	Área Total
1	TRECHO BR 491 - KM 138,0 a KM 149,9	m²	106.707,30

FRESAGEM - 10 CM						
Área total	↳	106.707,30				
Espessura (cm)	↳	10,00				
Execução diária (m²)		4.800,00				
	Un.	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto	
<b>Material de Fresa para Bota Fora</b>	m³	8,40	8,40	10.670,73	89.634,13	
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total	Custo Total
Caminhão tanque com capacidade de 6.000L	hr	0,0033	91,42	0,30	355,69	32.518,54
Operador Caminhão Tanque	hr	0,0033	24,51	0,08	355,69	8.719,66
Fresadora a frio - 410 kW	hr	0,0067	642,83	4,29	711,38	457.297,95
Operador de Fresadora	hr	0,0067	24,51	0,16	711,38	17.439,33
Pá Carregadeira	hr	0,0058	56,66	0,33	89,26	5.057,38
Operador Pá Carregadeira	hr	0,0071	15,25	0,11	108,39	1.653,37
Mini-carregadeira de pneus com vassoura	hr	0,0033	135,32	0,45	355,69	48.132,55
Operador de Mini Carregadeira	hr	0,0033	15,25	0,05	355,69	5.425,57
Ajudante	hr	0,0400	15,62	0,62	4.268,29	66.687,99
Mobilização / Desmobilização	vb		2,50	0,07	3.200,00	8.000,00
Deslocamento	Dia	0,0002			22,23	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>7,32</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>740.566,48</b>

PINTURA DE LIGAÇÃO - RR1C						
Área total (m²)	↳	213.414,60				
% Diluição	↳	0,50				
Consumo (l/m²)	↳	1,20				
Execução diária (m²)		7.000,00				
	Un.	Valor Un	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto	
<b>Material: RR 1C</b>	lt	1,9100	1,91	128.048,76	244.573,13	
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total	Custo Total
Caminhão + Espargidor	hr	0,0020	43,58	0,09	426,83	18.601,95
Motorista	hr	0,0026	14,71	0,04	548,78	8.071,92
Caminhão Pipa + Motorista	hr	0,0002	55,24	0,01	51,22	2.829,36
Operador espargidor	hr	0,0026	2,45	0,01	548,78	1.345,32
	Dia	0,0001			15,24	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>1,29</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>275.421,68</b>

REVESTIMENTO EM CBUQ						
Área total (m²)	213.414,60	OBS: Área duplicada (execução em 2 camadas de 5 cm)				
Espessura do CBUQ (cm)	5,00	( aplicação em 2 camadas - totalizando 10 cm)				
Execução diária ( m²)	7.000,00					
	Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material: CBUQ</b>	tn	195,00	11,40	206,40	25.609,75	5.285.852,81
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total	Custo Total
Pavimentadora	hr	0,0017	54,48	0,09	365,85	19.930,66
Operador Pavimentadora	hr	0,0024	19,61	0,05	518,29	10.164,64
Rolo Pneu	hr	0,0017	41,40	0,07	365,85	15.147,30
Operador Rolo Pneu	hr	0,0024	15,25	0,04	518,29	7.905,83
Rolo Chapa	hr	0,0017	39,22	0,07	365,85	14.350,08
Operador Rolo Chapa	hr	0,0024	14,16	0,03	518,29	7.341,13
Caminhão de Transporte	hr	0,0023	38,13	0,09	487,80	18.601,95
Encarregado de Asfalto / Motorista	hr	0,0024	23,43	0,06	518,29	12.141,09
Operador Mesa Acabadora	hr	0,0024	15,25	0,04	518,29	7.905,83
Rasteiros / Ajudantes Gerais	Dia	0,0073	15,25	0,11	1.554,88	23.717,49
Rasteiros / Ajudantes Gerais	Dia	0,0121	12,29	0,15	2.591,46	31.849,20
Mobilização / Desmobilização	vb		225,00	3,37	3.200,00	720.000,00
Tempo de Execução	Dia	0,0001			30,49	
				<b>CUSTO UNITÁRIO R\$</b>		<b>28,93</b>
				<b>CUSTO TOTAL R\$</b>		<b>6.174.908,00</b>
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO TOTAL</b>	<b>122 DIAS</b>			<b>CUSTO UNITÁRIO TOTAL R\$</b>		<b>78,52</b>
				<b>CUSTO TOTAL R\$</b>		<b>8.379.057,64</b>

## Apêndice O - Composição de Custos Demolição do Pavimento.

COMPOSIÇÃO DE CUSTOS						
SERVIÇO						
Demolição do Pavimento Flexível Existente						
Item	Descrição	Unidade	Área Total			
1	TRECHO BR 491 - KM 138,0 a KM 149,9	m <sup>2</sup>	106.707,30			
DEMOLIÇÃO DO PAVIMENTO - (m <sup>2</sup> )						
Área total (m <sup>2</sup> )	106.707,30					
Espessura (cm)	45,00					
Empolamento (%)	30,00					
Execução diária ( m3)	5.200,00					
Volume Geométrico (m <sup>3</sup> )	48.018,29					
Volume com Empolamento (m <sup>3</sup> )	62.423,77					
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL	Custo Total
Pá Carregadeira	hr	0,0025	56,66	0,14	266,77	15.114,08
Operador Pá Carregadeira	hr	0,0033	15,25	0,05	348,85	5.321,23
Escavadeira	hr	0,0046	108,95	0,50	492,50	53.659,47
Operador de Escavadeira	hr	0,0065	25,71	0,17	697,70	17.940,15
Caminhão Truck (Transporte Bota Fora)	m <sup>3</sup>	0,0002	8,40	0,00	62.423,77	524.359,67
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,05	2.400,00	5.400,00
Tempo de Execução	Dia	0,0002			12,00	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>12,95</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>621.794,61</b>
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO TOTAL</b>	<b>12 DIAS</b>			<b>CUSTO UNITÁRIO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>12,95</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>621.794,61</b>

## Apêndice P - Composição de Custos Pavimentação.

COMPOSIÇÃO DE CUSTOS							
SERVIÇO							
Pavimentação - Subleito, Sub-Base, Base, Imprimação, Pintura de Ligação e Revestimento							
Item	Descrição	Unidade			Área Total		
1	TRECHO BR 491 - KM 138,0 a KM 149,9	m²			106.707,30		
SUBLEITO							
Área total (m²)	106.707,30						
Execução diária (m²)	5.200,00						
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL		
					Qtde Total	Custo Total	
Patrol	hr	0,0054	78,45	0,42	574,58	45.073,96	
Operador Patrol	hr	0,0065	24,51	0,16	697,70	17.103,96	
Rolo Compactador - Pata	hr	0,0050	54,48	0,27	533,54	29.065,55	
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0065	12,53	0,08	697,70	8.742,02	
Trator de Pneus com Grade	hr	0,0046	38,13	0,18	492,50	18.780,82	
Operador de Trator	hr	0,0065	11,66	0,08	697,70	8.133,88	
Caminhão Pipa	hr	0,0054	41,40	0,22	574,58	23.789,03	
Motorista Pipa	hr	0,0065	13,84	0,09	697,70	9.654,23	
Caminhão Truck	hr	0,0065	59,92	0,39	697,70	41.809,67	
Motorista Truck	hr	0,0069	13,84	0,10	738,74	10.222,13	
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,04	2.000,00	4.500,00	
Tempo de Execução	Dia	0,0002			20,52		
					CUSTO UNITÁRIO SUBLEITO	R\$	2,03
					CUSTO TOTAL	R\$	216.875,25
SUB-BASE - SOLO -BRITA 15 CM- Proporção 70:30							
Área total (m²)	106.707,30						
Espessura (cm)	15,00						
Execução diária (m²)	4.400,00						
		Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
Brita	30,00%	tn	36,00	11,20	47,20	11.668,44	550.750,52
Argila	70,00%	m³		4,20	4,20	15.125,76	63.528,19
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL		
					Qtde Total	Custo Total	
Patrol	hr	0,0064	78,45	0,50	679,05	53.269,22	
Operador Patrol	hr	0,0077	24,51	0,19	824,56	20.213,77	
Rolo Compactador - Pata	hr	0,0059	54,48	0,32	630,54	34.350,19	
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0077	12,53	0,10	824,56	10.331,48	
Trator de Pneus com Grade	hr	0,0055	38,13	0,21	582,04	22.195,51	
Operador de Trator	hr	0,0077	11,66	0,09	824,56	9.612,77	
Caminhão Pipa	hr	0,0064	41,40	0,26	679,05	28.114,31	
Motorista Pipa	hr	0,0077	13,84	0,11	824,56	11.409,55	
Pá Carregadeira	hr	0,0064	56,66	0,36	679,05	38.472,22	
Operador Pá Carregadeira	hr	0,0077	15,25	0,12	824,56	12.577,46	
Rolo Compactador - Chapa	hr	0,0023	39,22	0,09	242,52	9.512,36	
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0036	12,53	0,05	388,03	4.861,87	
Caminhão Truck	hr	0,0077	59,92	0,46	824,56	49.411,43	
Motorista Truck	hr	0,0082	13,84	0,11	873,06	12.080,70	
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,08	4.000,00	9.000,00	
Tempo de Execução	Dia	0,0002			24,25		
					CUSTO UNITÁRIO	R\$	8,81
					CUSTO TOTAL	R\$	939.691,55

BASE - 15 CM						
Área total (m²)	↳	106.707,30				
Espessura (cm)	↳	15,00				
Execução diária ( m²)		4.400,00				
	Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Brita Graduada Simples</b>	tn	36,00	11,20	47,20	38.894,81	1.835.835,07
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Patrol	hr	0,0064	78,45	0,50	679,05	53.269,22
Operador Patrol	hr	0,0077	24,51	0,19	824,56	20.213,77
Rolo Compactador - Pata	hr	0,0059	54,48	0,32	630,54	34.350,19
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0077	12,53	0,10	824,56	10.331,48
Trator de Pneus com Grade	hr	0,0055	38,13	0,21	582,04	22.195,51
Operador de Trator	hr	0,0077	11,66	0,09	824,56	9.612,77
Caminhão Pipa	hr	0,0064	41,40	0,26	679,05	28.114,31
Motorista Pipa	hr	0,0077	13,84	0,11	824,56	11.409,55
Pá Carregadeira	hr	0,0064	56,66	0,36	679,05	38.472,22
Operador Pá Carregadeira	hr	0,0077	15,25	0,12	824,56	12.577,46
Rolo Compactador - Chapa	hr	0,0023	39,22	0,09	242,52	9.512,36
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0036	12,53	0,05	388,03	4.861,87
Caminhão Truck	hr	0,0077	59,92	0,46	824,56	49.411,43
Motorista Truck	hr	0,0082	13,84	0,11	873,06	12.080,70
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,08	4.000,00	9.000,00
Tempo de Execução	Dia	0,0002			24,25	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>20,25</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>2.161.247,91</b>
IMPRIMAÇÃO - CM-30						
Área total (m²)	↳	106.707,30				
Consumo (l/m²)	↳	1,20				
Execução diária ( m²)		4.400,00				
	Un.	Valor Un		Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material CM- 30</b>	lt	3,48		3,48	128.048,76	445.609,68
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Caminhão + Espargidor	hr	0,0016	43,58	0,07	169,76	7.398,50
Motorista	hr	0,0016	15,73	0,03	169,76	2.670,86
Operador espargidor	hr	0,0016	12,53	0,02	169,76	2.127,07
Tempo de Execução	Dia	0,0002			24,25	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>4,29</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>457.806,12</b>

PINTURA DELIGAÇÃO - RR1C						
Área total (m²)	213.414,60	OBS: Área duplicada (execução em 2 camadas)				
% Diluição	0,50					
Consumo (l/m²)	1,20					
Execução diária (m²)	7.000,00					
	Un.	Valor Un		Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material: RR 1C</b>	lt	1,9100		1,91	128.048,76	244.573,13
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Caminhão + Espargidor	hr	0,0020	43,58	0,09	426,83	18.601,95
Motorista	hr	0,0026	14,71	0,04	548,78	8.071,92
Caminhão Pipa + Motorista	hr	0,0002	55,24	0,01	51,22	2.829,36
Operador espargidor	hr	0,0026	2,45	0,01	548,78	1.345,32
Tempo de Execução	Dia	0,0001			15,24	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>1,29</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>275.421,68</b>
REVESTIMENTO EM CBUQ						
Área total (m²)	213.414,60	OBS: Área duplicada (execução em 2 camadas de 5 cm)				
Espessura do CBUQ (cm)	5,00	( aplicação em 2 camadas - totalizando 10 cm)				
Execução diária (m²)	7.000,00					
	Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material: CBUQ</b>	tn	195,00	11,40	206,40	25.609,75	5.285.852,81
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Pavimentadora	hr	0,0017	54,48	0,09	365,85	19.930,66
Operador Pavimentadora	hr	0,0024	19,61	0,05	518,29	10.164,64
Rolo Pneu	hr	0,0017	41,40	0,07	365,85	15.147,30
Operador Rolo Pneu	hr	0,0024	15,25	0,04	518,29	7.905,83
Rolo Chapa	hr	0,0017	39,22	0,07	365,85	14.350,08
Operador Rolo Chapa	hr	0,0024	14,16	0,03	518,29	7.341,13
Caminhão de Transporte	hr	0,0023	38,13	0,09	487,80	18.601,95
Encarregado de Asfalto / Motorista	hr	0,0024	23,43	0,06	518,29	12.141,09
Operador Mesa Acabadora	hr	0,0024	15,25	0,04	518,29	7.905,83
Rasteleiros / Ajudantes Gerais	Dia	0,0073	15,25	0,11	1.554,88	23.717,49
Rasteleiros / Ajudantes Gerais	Dia	0,0121	12,29	0,15	2.591,46	31.849,20
Mobilização / Desmobilização	vb		225,00	3,37	3.200,00	720.000,00
Tempo de Execução	Dia	0,0001			30,49	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>28,93</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>6.174.908,00</b>
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO TOTAL</b>	<b>140 DIAS</b>			<b>CUSTO UNITÁRIO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>95,83</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>10.225.950,51</b>

## Apêndice Q - Composição de Custos Pavimentação - Acostamento.

COMPOSIÇÃO DE CUSTOS			
SERVIÇO			
Acostamento - Subleito, Sub-Base, Base, Imprimação, Pintura de Ligação e Revestimento			
Item	Descrição	Unidade	Área Total
1	TRECHO BR 491 - KM 138,0 a KM 149,9	m²	15.302,45

SUBLEITO							
Área total (m²)	15.302,45						
Execução diária (m²)	3.200,00						
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL	Qtde Total	Custo Total
Patrol	hr	0,0044	78,45	0,34		66,95	5.251,89
Operador Patrol	hr	0,0053	24,51	0,13		81,29	1.992,91
Rolo Compactador - Pata	hr	0,0041	54,48	0,22		62,17	3.386,64
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0053	12,53	0,07		81,29	1.018,60
Trator de Pneus com Grade	hr	0,0038	38,13	0,14		57,38	2.188,29
Operador de Trator	hr	0,0053	11,66	0,06		81,29	947,74
Caminhão Pipa	hr	0,0044	41,40	0,18		66,95	2.771,83
Motorista Pipa	hr	0,0053	13,84	0,07		81,29	1.124,88
Caminhão Truck	hr	0,0053	59,92	0,32		81,29	4.871,55
Motorista Truck	hr	0,0056	13,84	0,08		86,08	1.191,05
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,15		1.000,00	2.250,00
Tempo de Execução	Dia	0,0003				4,78	
<b>CUSTO UNITÁRIO SUBLEITO</b>							<b>R\$ 3,91</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>							<b>R\$ 59.785,94</b>

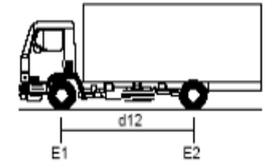
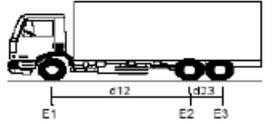
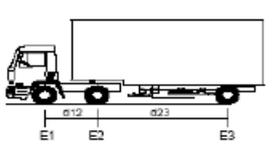
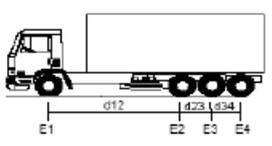
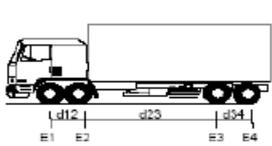
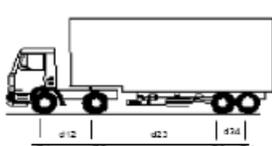
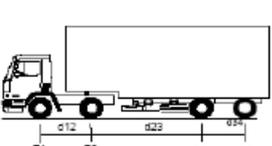
SUB-BASE - SOLO -BRITA 15 CM- Proporção 70:30							
Área total (m²)	15.302,45						
Espessura (cm)	15,00						
Execução diária (m²)	2.800,00						
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto	
Brita	30,00%	tn	36,00	11,20	47,20	1.673,32	78.980,83
Argila	70,00%	m³	-	4,20	4,20	2.088,78	8.772,89
COMPOSIÇÃO UNITÁRIA	UNID	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO	COMPOSIÇÃO TOTAL	Qtde Total	Custo Total
Patrol	hr	0,0050	78,45	0,39		76,51	6.002,16
Operador Patrol	hr	0,0061	24,51	0,15		92,91	2.277,61
Rolo Compactador - Pata	hr	0,0046	54,48	0,25		71,05	3.870,44
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0061	12,53	0,08		92,91	1.164,11
Trator de Pneus com Grade	hr	0,0043	38,13	0,16		65,58	2.500,90
Operador de Trator	hr	0,0061	11,66	0,07		92,91	1.083,13
Caminhão Pipa	hr	0,0050	41,40	0,21		76,51	3.167,81
Motorista Pipa	hr	0,0061	13,84	0,08		92,91	1.285,58
Pá Carregadeira	hr	0,0050	56,66	0,28		76,51	4.334,90
Operador Pá Carregadeira	hr	0,0061	15,25	0,09		92,91	1.417,18
Rolo Compactador - Chapa	hr	0,0018	39,22	0,07		27,33	1.071,81
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0029	12,53	0,04		43,72	547,82
Caminhão Truck	hr	0,0061	59,92	0,36		92,91	5.567,48
Motorista Truck	hr	0,0064	13,84	0,09		98,37	1.361,20
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,29		2.000,00	4.500,00
Tempo de Execução	Dia	0,0004				5,47	
<b>CUSTO UNITÁRIO</b>							<b>R\$ 10,06</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>							<b>R\$ 154.007,76</b>

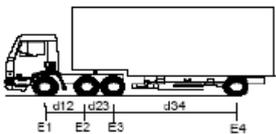
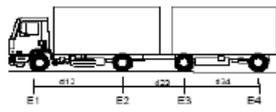
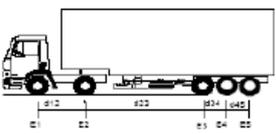
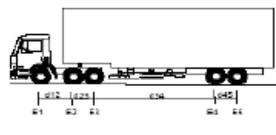
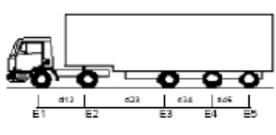
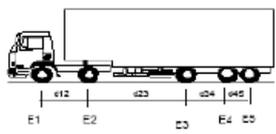
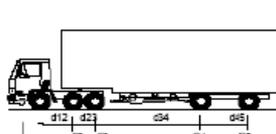
BASE						
Área total (m²)	↳	15.302,45				
Espessura (cm)	↳	21,00				
Execução diária ( m²)		2.400,00				
	Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Brita Graduada Simples</b>	tn	36,00	11,20	47,20	7.808,84	368.577,21
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Patrol	hr	0,0058	78,45	0,46	89,26	7.002,52
Operador Patrol	hr	0,0071	24,51	0,17	108,39	2.657,21
Rolo Compactador - Pata	hr	0,0054	54,48	0,30	82,89	4.515,52
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0071	12,53	0,09	108,39	1.358,13
Trator de Pneus com Grade	hr	0,0050	38,13	0,19	76,51	2.917,72
Operador de Trator	hr	0,0071	11,66	0,08	108,39	1.263,65
Caminhão Pipa	hr	0,0058	41,40	0,24	89,26	3.695,78
Motorista Pipa	hr	0,0071	13,84	0,10	108,39	1.499,85
Pá Carregadeira	hr	0,0058	56,66	0,33	89,26	5.057,38
Operador Pá Carregadeira	hr	0,0071	15,25	0,11	108,39	1.653,37
Rolo Compactador - Chapa	hr	0,0021	39,22	0,08	31,88	1.250,45
Operador de Rolo Compactador	hr	0,0033	12,53	0,04	51,01	639,12
Caminhão Truck	hr	0,0071	59,92	0,42	108,39	6.495,40
Motorista Truck	hr	0,0075	13,84	0,10	114,77	1.588,07
Mobilização / Desmobilização	vb		2,25	0,29	2.000,00	4.500,00
Tempo de Execução	Dia	0,0004			6,38	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>29,09</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>445.123,59</b>
IMPRIMAÇÃO - CM-30						
Área total (m²)	↳	15.302,45				
Consumo (l/m²)	↳	1,20				
Execução diária ( m²)		2.400,00				
	Un.	Valor Un		Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material CM- 30</b>	lt	3,48		3,48	18.362,94	63.903,02
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Caminhão + Espargidor	hr	0,0029	43,58	0,13	44,63	1.945,15
Motorista	hr	0,0029	15,73	0,05	44,63	702,20
Operador espargidor	hr	0,0029	12,53	0,04	44,63	559,23
Tempo de Execução	Dia	0,0004			6,38	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>4,39</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>67.109,60</b>

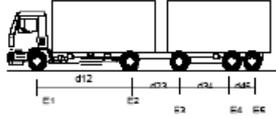
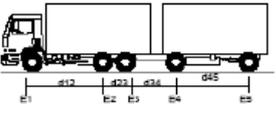
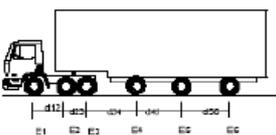
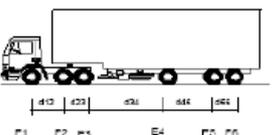
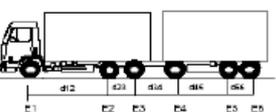
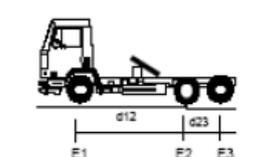
PINTURA DELIÇÃO - RR1C						
Área total (m²)	15.302,45					
% Diluição	0,50					
Consumo (l/m²)	1,20					
Execução diária (m²)	3.500,00					
	Un.	Valor Un		Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material: RR 1C</b>	lt	1,9100		1,91	9.181,47	17.536,61
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Caminhão + Espargidor	hr	0,0020	43,58	0,09	30,60	1.333,81
Motorista	hr	0,0026	14,71	0,04	39,35	578,78
Caminhão Pipa + Motorista	hr	0,0002	55,24	0,01	3,67	202,87
Operador espargidor	hr	0,0026	2,45	0,01	39,35	96,46
Tempo de Execução	Dia	0,0003			4,37	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>1,29</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>19.748,54</b>
REVESTIMENTO EM CBUQ						
Área total (m²)	15.302,45					
Espessura do CBUQ (cm)	4,00					
Execução diária (m²)	3.500,00					
	Un.	Valor Un	Frete	Custo Un. Total	Qtde. Total	Custo Total Produto
<b>Material: CBUQ</b>	tn	195,00	11,40	206,40	1.469,04	303.208,83
<b>COMPOSIÇÃO UNITÁRIA</b>	<b>UNID</b>	<b>QTDE</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>CUSTO</b>	<b>COMPOSIÇÃO TOTAL Qtde Total</b>	<b>Custo Total</b>
Pavimentadora	hr	0,0017	54,48	0,09	26,23	1.429,09
Operador Pavimentadora	hr	0,0024	19,61	0,05	37,16	728,83
Rolo Pneu	hr	0,0017	41,40	0,07	26,23	1.086,11
Operador Rolo Pneu	hr	0,0024	15,25	0,04	37,16	566,87
Rolo Chapa	hr	0,0017	39,22	0,07	26,23	1.028,94
Operador Rolo Chapa	hr	0,0024	14,16	0,03	37,16	526,38
Caminhão de Transporte	hr	0,0023	38,13	0,09	34,98	1.333,81
Encarregado de Asfalto / Motorista	hr	0,0024	23,43	0,06	37,16	870,55
Operador Mesa Acabadora	hr	0,0024	15,25	0,04	37,16	566,87
Rasteleiros / Ajudantes Gerais	Dia	0,0073	15,25	0,11	111,49	1.700,61
Rasteleiros / Ajudantes Gerais	Dia	0,0121	12,29	0,15	185,82	2.283,68
Mobilização / Desmobilização	vb		225,00	5,88	400,00	90.000,00
Tempo de Execução	Dia	0,0003			4,37	
				<b>CUSTO UNITÁRIO</b>	<b>R\$</b>	<b>26,49</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>405.330,57</b>
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO TOTAL</b>	<b>32 DIAS</b>			<b>CUSTO UNITÁRIO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>75,22</b>
				<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>1.151.106,00</b>

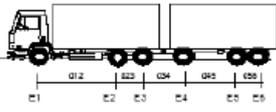
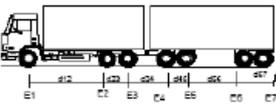
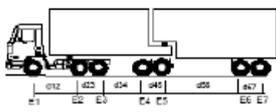
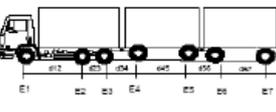
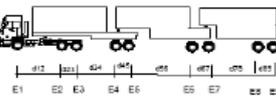
## 10 ANEXOS

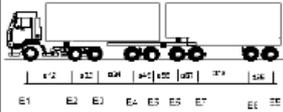
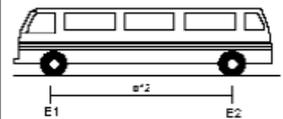
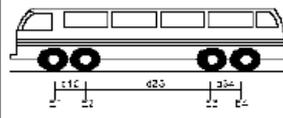
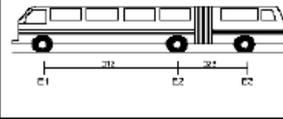
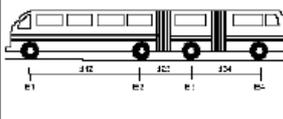
Anexo I - Veículos adotados na classificação do DNIT – 1/5

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	<b>CAMINHÃO</b> E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t $d12 \leq 3,50m$	2C
	3	23(24,2)	<b>CAMINHÃO TRUCADO</b> E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$ $1,20m < d23 \leq 2,40m$	3C
	3	26(27,3)	<b>CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1
	4	31,5(33,1)	<b>CAMINHÃO SIMPLES</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t $d12 > 2,40$ $1,20m < d23, d34 \leq 2,40m$	4C
	4	29(30,5)	<b>CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO</b> E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t $1,20m < d34 \leq 2,40m$	4CD
	4	33(34,7)	<b>CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t $d12, d23 > 2,40m$ $1,20m < d34 \leq 2,40m$	2S2
	4	36(37,8)	<b>CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d12, d23, d34 > 2,40m$	2I2

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	4	33(34,7)	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40	3S1
	4	36(37,8)	<b>CAMINHÃO + REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	5	41,5(43,6)	<b>CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD CM10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	5	40(42)	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	5	45(47,3)	<b>CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3
	5	43(45,2)	<b>CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	5	43(45,2)	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I2

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	5	43(45,2)	<b>CAMINHÃO + REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3
	5	43(45,2)	<b>CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2
	6	45(47,3)	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
	6	45(47,3)	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3
	6	45(47,3)	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	6	45(47,3)	<b>CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3
	6	19,5(20,5)	<b>CAMINHÃO TRATOR</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD(6 pneus), CM 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A CMT do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo 10 ton até, no máximo o limite legal de 4r ton.	X

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	6	50(52,5)	<b>ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque)</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3
	7	57(59,9)	<b>ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque)</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	57(59,9)	<b>BI TREM ARTICULADO(caminhão trator trucado + dois semi reboques)</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	63(66,2)	<b>TREMINHÃO(caminhão trucado + dois reboques)</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t E7 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3Q4
	9	74(77,7)	<b>TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques)</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	9	74(77,7)	<b>RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly)</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16(16,8)	<b>ÔNIBUS</b> E1 = ES, RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM 10t d12 ≤ 3,50m	2CB
	3	19,5(20,5)	<b>ÔNIBUS TRUCADO</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t d12 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40m	3CB
	4	25,5(26,8)	<b>ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO</b> E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t 1,20 < d34 ≤ 2,40m	4CB
	3	26(27,3)	<b>ÔNIBUS URBANO ARTICULADO</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t d12, d23 > 2,40m	2SB1
	4	36(37,8)	<b>ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2IB2