



UFSC-UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

# **Avaliação da tolerância de peso permitida por eixo no dimensionamento de pavimentos flexíveis**

Aluno: Samuel Koch Schmitt

Orientadora: Liseane Padilha Thives

Novembro de 2015.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da  
UFSC.

Koch Schmitt, Samuel

Avaliação da tolerância de peso permitida por eixo no dimensionamento de pavimentos flexíveis / Samuel Koch Schmitt; orientadora, Liseane Padilha Thives - Florianópolis, SC, 2015.

70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Dimensionar pavimentos flexíveis com a carga legal e o excesso permitido se 10% sobre a carga legal. I. Padilha Thives, Liseane. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Samuel Koch Schmitt

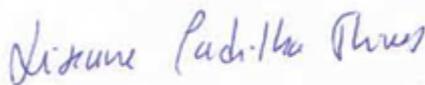
**AVALIAÇÃO DA TOLERÂNCIA DE PESO PERMITIDA POR EIXO NO  
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 27 de novembro de 2015.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof.<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng<sup>a</sup> Emmanuelle Stefânia Holdefer Garcia

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida. E por ter me dado forças para seguir firme nesta caminhada.

Agradecer aos meus pais, Judite e Jucélio, por terem me dado todas as oportunidades, incentivo, apoio, dedicação e condições para estudar desde a minha infância. Sem esse incentivo não chegaria onde estou hoje.

Ao meu irmão Túlio, por estar sempre ao meu lado e torcendo por min.

À minha avó Maria, por ter depositado a sua confiança na minha capacidade de chegar ao fim do curso.

A professora orientadora e amiga Liseane, pela sua disponibilidade e por toda dedicação no acompanhamento deste trabalho. Obrigado pela troca de conhecimento e experiências e por ter sempre acreditar em min.

Ao professor Rafael Higashi e Emmanuelle Garcia, por terem aceitado o convite de participar da banca examinadora deste trabalho. Obrigado pelas sugestões que contribuíram para a finalização deste trabalho.

Aos demais professores do curso pelo seu empenho e por terem contribuído cada um de uma forma especial para minha formação.

Aos amigos e colegas agradeço as experiências vivenciadas ao longo do curso e companheirismo nesta caminhada.

“Aprendi que vai demorar muito para me transformar na pessoa que quero ser, e devo ter paciência. Mas aprendei também, que posso ir além dos limites que eu próprio coloquei.”

Charlie Chaplin

## RESUMO

O Brasil tem um predomínio do transporte rodoviário, mas possui graves deficiências no sistema, o que prejudica a economia, afeta a competitividade e reduz a qualidade de vida da população. Desta forma, é de suma importância o estudo do impacto causado pela nova Resolução nº 489 DE 05 DE JUNHO DE 2014 que alterou a tolerância de peso permitida sobre a carga legal dos veículos comerciais para 10% além desta carga. O aumento de 10% de peso nos veículos comerciais trafegando nas estradas do país acelera a degradação do pavimento e reduz a sua vida de projeto. Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto na vida útil e a estrutura de pavimentos hipotéticos levando em conta o excesso de carga permitido por meio da Resolução. Para tanto, os pavimentos foram dimensionados por dois métodos de dimensionamento, o método empírico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNER/81 que é preconizado em norma e o método empírico-mecanicista com auxílio do *software* BISAR 3.0. Como resultado, constatou-se que um aumento de 10% de peso em relação à carga legal gerou a elevação de 71% do número N. Com o número de repetições do eixo padrão resultante foi feito o dimensionamento da estrutura começando pelo método empírico e depois o método empírico mecanicista. Para o método DNER/81 a estrutura resultou semelhante para os dois tráfegos e foi uma estrutura mais compacta que a obtida pelo outro método. A estrutura obtida pelo método empírico mecanicista foi mais robusta e com um aumento de 15% na espessura camada de revestimento para carga legal +10% em relação à carga legal. Como a estrutura ficou muito robusta foi sugerido o acréscimo de uma camada de asfalto borracha para diluir melhor a distribuição dos esforços entre camadas além de o asfalto borracha possuir maior resistência à fadiga. Este resultado foi mais coerente, tornando a espessura do pavimento mais resistente com a utilização da mistura com asfalto borracha. Também foi constatado que se aumentar a tolerância de peso e não dimensionar o pavimento para esta sobrecarga a vida útil do pavimento terá uma redução muito drástica aumentando ainda mais as patologias nas estradas brasileiras causando mais perdas econômicas e de segurança. Por isso que se torna tão importante o estudo dos impactos da nova lei de tolerância de excesso de peso.

**Palavras-Chave:** Pavimentos flexíveis, métodos de dimensionamento, pavimento asfáltico, Número N, Carga legal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estado do pavimento.....	12
Figura 2. Método do trabalho.....	15
Figura 3. Composição do pavimento flexível.....	18
Figura 4. Representação gráfica da distribuição dos pesos por eixo.....	20
Figura 5. Classificação da frota circulante.....	21
Figura 6. Cargas legais por eixo no Brasil.....	23
Figura 7. Equipamentos de contagem de tráfego.....	25
Figura 8. Representação do ESP de 8,2 tf.....	29
Figura 9. Tensões atuante em um pavimento flexível.....	29
Figura 10. Pista de teste AASHTO.....	33
Figura 11. Simbologia adotada no método DNER/81.....	36
Figura 12. Parâmetros avaliados na análise empírico-mecanicista.....	37
Figura 13. Ilustra as fendas em pavimentos.....	39
Figura 14. Trincas tipo couro de jacaré.....	40
Figura 15. Tipos de afundamentos.....	40
Figura 16. Buraco ou panela.....	41
Figura 17. Dados fornecidos ao software BISAR 3.0.....	55
Figura 18. Posição da avaliação da fibra tracionada.....	55
Figura 19. Resultado fornecido pelo <i>software</i> BISAR 3.0.....	56
Figura 20. Estrutura dimensionada pelo método DNER/81 para $N=2,33 \times 10^7$ .....	58
Figura 21. Estrutura dimensionada pelo método DNER/81 para $N=3,99 \times 10^7$ .....	58
Figura 22. Primeiro resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga Legal.....	61
Figura 23. Primeiro resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga legal mais 10%.....	62
Figura 24. Segundo resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga Legal.....	63
Figura 25. Segundo resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga legal mais 10%.....	64
Figura 26. Resultado obtido pelo método empírico-mecanicista utilizando asfalto borracha para carga legal.....	65
Figura 27. Resultado obtido pelo método empírico-mecanicista utilizando asfalto borracha para carga legal mais 10%.....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparação entre pavimento rígido e flexível.....	19
Quadro 2. Cargas legais e com tolerância.....	22
Quadro 3. Fatores de equivalência de carga do USACE.....	28
Quadro 4. Espessura mínima do revestimento.....	35
Quadro 5. Multa por sobrepeso de acordo com resolução n° 258/07 – CONTRAN.....	42
Quadro 6. Contagem de veículos.....	45
Quadro 7. Quantidade de eixos por veículo.....	46
Quadro 8. Carga legal por eixo.....	46
Quadro 9. Carga legal +10% por eixo.....	47
Quadro 10. Fator de equivalência da carga legal por eixo.....	47
Quadro 11. Fator de equivalência da carga legal +10% por eixo.....	48
Quadro 12. Fator veículo para carga legal.....	48
Quadro 13. Fator veículo para carga legal +10%.....	49
Quadro 14. Dano carga legal.....	49
Quadro 15. Dano carga legal +10%.....	50
Quadro 16. Número N para carga legal.....	51
Quadro 17. Número N para carga legal +10%.....	51
Quadro 18. Módulos dinâmicos das misturas.....	52
Quadro 19. Leis de fadiga das misturas.....	53
Quadro 20. Espessuras $H_m$ , $H_{10}$ , $H_{20}$ .....	57
Quadro 21. Estruturas avaliadas.....	59

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AASHO	American Association of State Highways Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AET	Autorização Especial de Transito
BISAR	Betumem Stress Analysis in Roads
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CNT	Confederação Nacional de Transporte
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CVC	Combinação de Veículo de Carga
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ESP	Eixo Simples Padrão
FC	Fator de equivalência de Carga
FV	Fator veículo
IG	Índice de grupo
LABTRANS	Laboratório de Transportes e Logística
PBT	Peso bruto total
PBTC	Peso bruto total combinado
PNTC	Plano nacional de controle de tráfego
PPVS	Postos de Pesagem Veicular
SNV	Sistema Nacional de Viação
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USACE	United States Army Corps of Engineers
VMDA	Volume médio diário anual

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
<b>1.2 Organização do trabalho</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3. Método do trabalho</b> .....	<b>15</b>
<b>2. Revisão de Literatura</b> .....	18
<b>2.1 Pavimentos Rodoviários</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1 Pavimentos flexíveis</b> .....	18
<b>2.1.2 Pavimento Rígido</b> .....	19
<b>2.1.3 Pavimento Semi-Rígido</b> .....	19
<b>2.1.4 Comparação Entre os Pavimentos</b> .....	19
<b>2.2 Veículos de Carga</b> .....	<b>20</b>
2.2.1 Legislações para Veículos de Carga.....	22
2.2.2 Veículos com AET .....	25
<b>2.3 TRÁFEGO</b> .....	<b>25</b>
2.3.1. Composições do Tráfego.....	27
2.3.2. Número N.....	28
<b>2.4. Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis</b> .....	<b>32</b>
2.4.1 Método Empírico .....	33
2.4.2 Metodologia Empírico-Mecanicista.....	38
<b>2.5 Deteriorações do Pavimento</b> .....	<b>39</b>
2.5.1Tipos de Defeitos .....	40
<b>2.6 Fiscalização de Excesso de Peso em Rodovias Brasileiras</b> .....	<b>42</b>
2.6.1. Multas por excesso de Peso.....	42
2.6.2 Conseqüências do Excesso de Peso .....	43
2.6.3 Postos de pesagem.....	44
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	46
<b>3.1.MATERIAIS</b> .....	<b>46</b>
<b>3.1.1 Contagem de Tráfego</b> .....	46
<b>3.1.2Tipo e materiais constituintes das camadas</b> .....	53
<b>3.1.3 Módulos e Leis de Fadiga</b> .....	53
<b>3.2 MÉTODO</b> .....	<b>54</b>
3.2.1 Marcha de cálculo .....	54
3.2.2 Aplicação do <i>software</i> BISAR 3.0 .....	54
<b>4. RESULTADOS</b> .....	58

4.1 Espessuras do pavimento flexível pelo método DNER/81.....	58
4.2. Espesuras do pavimento flexível pelo método empírico-mecanicista .....	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	68
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	69
REFERÊNCIAS .....	70

## 1.INTRODUÇÃO

O asfalto é um dos mais antigos, versáteis e importantes materiais que o homem utiliza nas construções. A sua utilização na pavimentação também é uma das mais importantes e antigas entre todos os materiais. Na maior parte dos países do mundo, a pavimentação com materiais asfálticos é a principal forma de revestimento. No Brasil, aproximadamente 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico. As principais razões para o uso intensivo do asfalto são: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos (BERNUCCI et al., 2008).

O início da história do transporte rodoviário no Brasil com a utilização de rodovias pavimentadas foi no ano de 1861 com a inauguração da primeira estrada de rodagem do Brasil, com função de ligar os estados de Rio de Janeiro e Minas Gerais (CNT, 2014).

A opção pelo modo rodoviário como principal meio de transporte, data do início da República, tendo em conta a produção de carros em série nos Estados Unidos e exportados ao Brasil e também como a forma mais econômica, na época, de ligar o país. Mas, foi nas décadas de 1940 e 1950 que ocorreu o grande impulso para a construção rodoviária brasileira. Decorrente dos avanços na pavimentação ocorridos durante a 2ª Guerra Mundial, no âmbito mundial, e da criação do Fundo Rodoviário Nacional no país em 1946, em torno de 110 mil quilômetros de rodovias foram pavimentadas entre os anos de 1942 e 1985 (BERNUCCI et al., 2008).

Desde então, o modo rodoviário lidera a matriz de transportes brasileiros, e tem desempenhado o importante papel de contribuir para o crescimento do país, permitindo o desenvolvimento econômico e social e de fazer a integração entre os outros meios.

Apesar da grande importância das rodovias para o deslocamento de bens e pessoas, se verifica se, em relação à extensão total da malha rodoviária no país apenas pequena parte encontra-se pavimentada e desta parte ainda aquelas que estão em péssimo estado de trafegabilidade.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Viação – SNV de 2014, no país existem 1.691.522km de rodovias, dos quais apenas 203.599 km são pavimentados o que corresponde a 12,0% do total. Das rodovias pavimentadas 65.930 são federais. Destas, apenas 8,2% são de pistas duplas (5.446km) e 1,9% (1.316 km) estão em fase de duplicação; os demais 89,9% são de pistas simples. Deve-se ressaltar que, embora a presença de pista dupla não seja um pressuposto essencial ao adequado nível de serviço, vias duplicadas propiciem o aumento da capacidade de tráfego e um grau mais elevado de segurança (CNT, 2015).

De acordo com a pesquisa realizada pelo CNT no ano de 2014, a classificação do estado do pavimento em extensão total foi a seguinte: 9.987km (10,1%) ótimo, 27.383km (27,8%) bom, 37.608km (38,2%) regular, 16.709km (17,0%) ruim e 6.797km (6,9%) péssimo. A Figura 1 ilustra o estado dos pavimentos em duas rodovias brasileiras, nas quais se podem observar afundamentos, trincas por fadiga, desgaste, remendos e descolamento do revestimento.

Figura 1. Estado do pavimento



RJ-144 (Carmo)

MA-006 (Amarante do Maranhão)

Fonte: CNT (2015)

No Brasil, os pavimentos flexíveis (revestimentos asfálticos) são dimensionados para uma vida de projeto de 10 anos. No entanto, pouco tempo após a abertura ao tráfego aparecem degradações estruturais, sendo as principais, fadiga e deformação permanente. Na fase de projeto e construção, os motivos que levam a esta degradação precoce podem estar relacionados com o levantamento e projeção equivocada do tráfego futuro atuante, dimensionamento inadequados das camadas (espessuras), erros de dosagem dos materiais que compõem as camadas e ainda devido aos métodos construtivos. Na fase de operação, a principal razão que leva à deterioração dos

pavimentos está relacionada com o excesso de carga dos veículos pesados pela falta de controle e postos de pesagem no país. A tolerância de excesso de carga no Brasil é de 10%, no entanto, este acréscimo nos veículos de carga prejudica a durabilidade da rodovia.

Este trabalho objetiva avaliar o tempo reduzido da vida útil da rodovia quando é permitida a tolerância de 10% de peso em relação à carga legal e, conseqüentemente, o prejuízo econômico gerado pela “lei dos 10%”.

As rodovias em bom estado de conservação são fundamentais para o desenvolvimento do Brasil, e reduzem os acidentes. A inadequação da infraestrutura aumenta o tempo das viagens, eleva o custo operacional dos veículos, traz mais riscos aos usuários e emissões de poluentes.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é analisar o impacto da tolerância de peso permitida para veículos de carga no dimensionamento de pavimentos flexíveis.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Para concluir o objetivo geral são necessários os seguintes objetivos específicos assim definidos:

- a) Dimensionar pavimentos flexíveis por meio de metodologia empírica e empírico-mecanicista;
- b) Dimensionar pavimentos flexíveis com a carga legal e o excesso permitido se 10% sobre a carga legal;
- c) Comparar os benefícios obtidos pelo dimensionamento racional dos pavimentos.

## **1.2 Organização do trabalho**

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

## **Capítulo 1 – Introdução**

O primeiro capítulo faz-se a apresentação do assunto e dos objetivos gerais e específicos. É também apresentada à estrutura e a organização do trabalho, bem como o fluxograma do método.

## **Capítulo 2 – Revisão bibliográfica**

O segundo capítulo trata da revisão de literatura referente ao tema do trabalho: conceitos, funções e constituição dos pavimentos flexíveis. Será dada ênfase aos pavimentos flexíveis, aos métodos de dimensionamento, a evolução das patologias relacionadas ao dimensionamento, à caracterização do pavimento em serviço, aos meios de avaliação, e aos parâmetros e critérios de dimensionamento de reforços asfálticos.

## **Capítulo 3 - Materiais e método**

No terceiro capítulo são expostos os passos para a análise dos dados, os materiais utilizados e os métodos de dimensionamento necessários para atingir os objetivos propostos.

## **Capítulo 4 – Resultados**

No quarto capítulo, são apresentados, interpretados e discutidos os resultados da análise dos dados bem como dos cálculos dos dimensionamentos efetuados por dois diferentes métodos e as consequências do aumento de 10% de sobre peso.

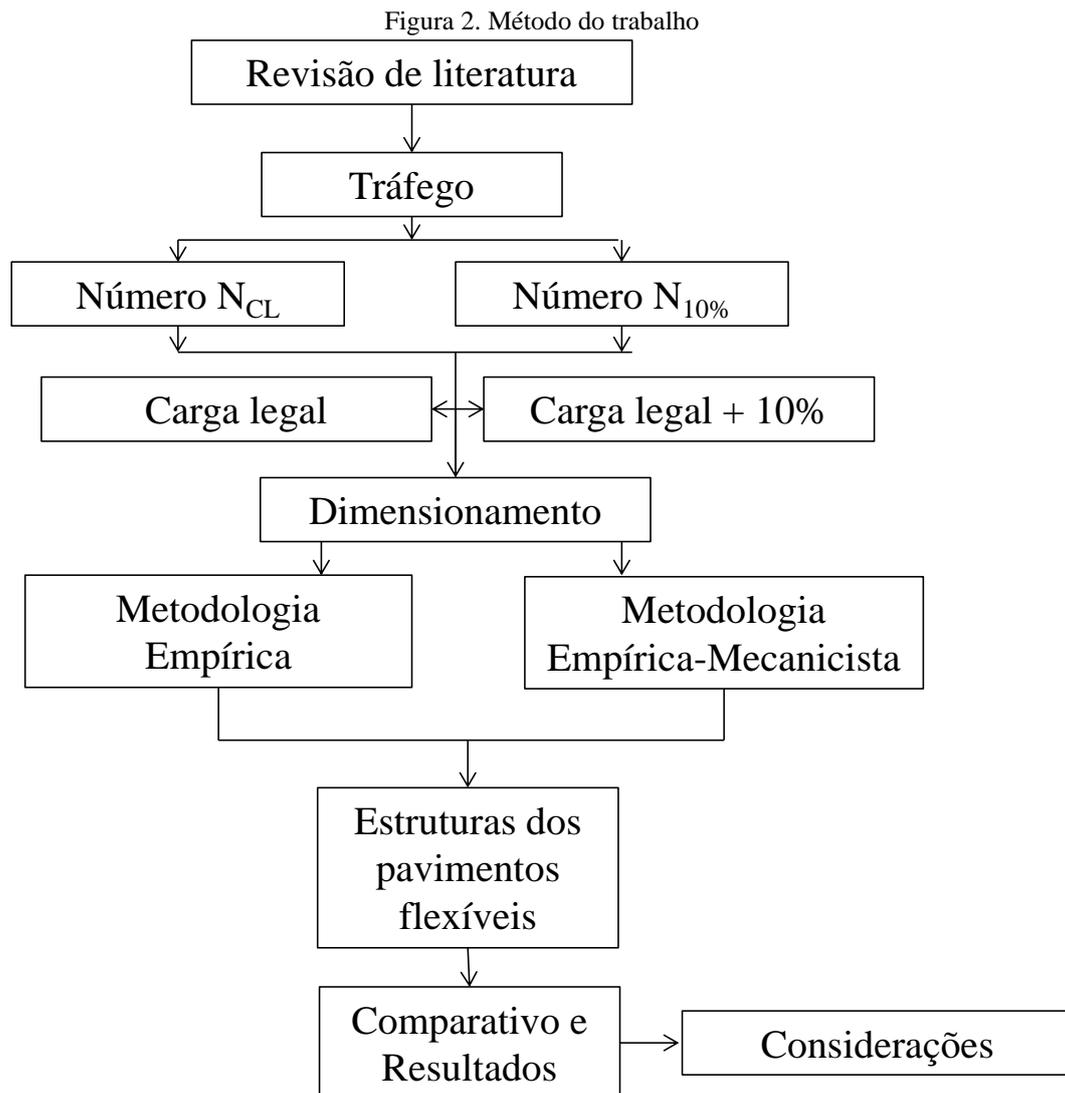
## **Capítulo 5: Considerações finais e recomendações para trabalhos futuros**

No quinto capítulo, considerações finais e recomendações para trabalhos futuros, fundamentadas a partir dos resultados obtidos, são apresentadas as conclusões e perspectivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Por fim, são listadas as **Referências** utilizadas durante a execução deste trabalho e os **Apêndices**.

### **1.3. Método do trabalho**

A Figura 2 apresenta o método adotado para realização do trabalho.



Fonte: O Autor (2015)

De acordo com a Figura 2, inicialmente foi realizada uma revisão de literatura acerca dos pavimentos flexíveis, cargas impostas, cálculo do tráfego e métodos de dimensionamento. Posteriormente, o tráfego foi calculado em termos do número  $N$  (número de eixos equivalente ao eixo simples padrão de 8,2 tf) para a carga legal e acréscimo de 10%. Foi realizado o dimensionamento considerando as metodologias empírica e empírica-mecanicista e assim, dimensionadas as estruturas para cada tráfego considerado. Finalmente foi realizado o comparativo entre as estruturas, avaliada a vida útil e realizada a análise de custos.



## 2. Revisão de Literatura

### 2.1 Pavimentos Rodoviários

O Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) define pavimento como:

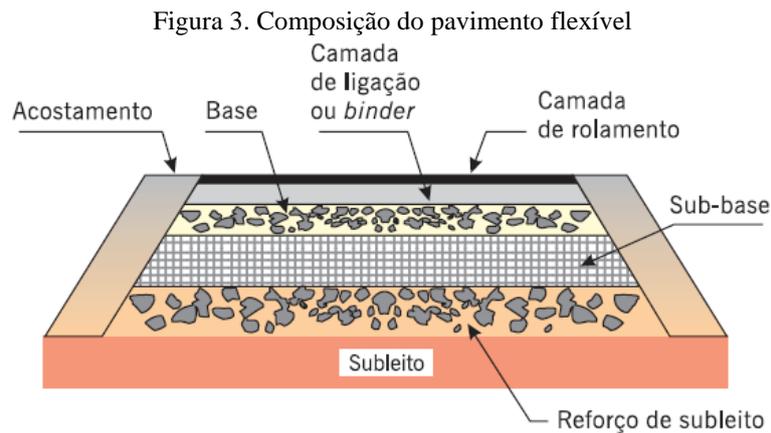
Superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito – a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito (BRASIL, 2006).

#### 2.1.1 Pavimentos flexíveis

Pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e portanto, a carga é distribuída em partes aproximadamente equivalentes entre as camadas (BRASIL, 2006). Nos pavimentos flexíveis geralmente estão presentes as quatro camadas principais: camada de base, de sub-base, de reforço do subleito e revestimento.

A pavimentação começa pela regularização do subleito que tem por finalidade corrigir as falhas da camada final da terraplenagem ou de um leito antigo da estrada. O reforço do subleito quando presente é uma camada de espessura constante sobre o subleito, constituído-se tipicamente de solo de qualidade superior ao subleito. Após o reforço do subleito tem-se a sub-base com material que deve ter boa capacidade de suporte, ou seja com Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR – *California Bearing Ratio*) superior a 20%. A base é a camada que vem antes do revestimento que fornece o suporte estrutural, de modo que sua rigidez deve aliviar as tensões nas camadas inferiores (UFPR, 2015).

O revestimento flexível é constituído por associação de agregados (rocha britada) e materiais betuminosos (ligantes). É sobre esta camada que os veículos trafegam e também é a primeira camada a sofrer desgaste e os danos causados no pavimento durante a sua vida útil. A Figura 3 apresenta a estrutura típica de um pavimento flexível.



Fonte: Bernucci et al. (2008)

### 2.1.2 Pavimento Rígido

O pavimento rígido é composto por uma placa de concreto de cimento Portland assente sobre uma camada de sub-base sobre o solo de fundação (subleito)

No pavimento rígido o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (BRASIL, 2006). Esta última camada nos pavimentos rígidos é construída em concreto, podendo ser ou não armado.

### 2.1.3 Pavimento Semi-Rígido

O pavimento semi-rígido ou composto é uma situação intermediária entre pavimento flexível e rígido no qual se busca combinar as vantagens de cada material, onde pode ocorrer misturas de solo/cimento, solo/betume e solo/cal que representam razoável resistência a tração (MARQUES, 2007). Um dos pavimentos semi-rígidos comuns é o de base cimento sobre o revestimento betuminoso.

### 2.1.4 Comparação Entre os Pavimentos

Existem duas formas principais de revestimento das estradas por pavimentos flexíveis ou rígidos, sendo que a principal diferença entre os dois tipos de pavimento é a distribuição de tensões nas camadas subjacentes. Cada uma das formas possui vantagens e desvantagens, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Comparação entre pavimento rígido e flexível

<b>PAVIMENTO RÍGIDO</b>	<b>PAVIMENTO FLEXÍVEL</b>
Estruturas mais delgadas de pavimento.	Estrutura mais espessas.
Resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis).	È fortemente afetada por produtos químicos (óleos, graxas, combustíveis).
Falta de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade.	Melhor aderência das demarcações viárias devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação.
Possui juntas de dilatação, que geram incomodo aos motoristas.	Não possui junta de dilatação, pavimento contínuo
Necessita de cura, tem que esperar o concreto secar e atingir a resistência desejada o que pode levar mais de um dia.	Não necessita de cura o tráfego é liberado logo após o termino da camada de revestimento.
Pequena necessidade de manutenção e conservação.	Necessita de algumas manutenções e recuperações.

Fonte: O Autor (2015)

Tecnologicamente, o pavimento flexível e o pavimento rígido possuem suas aplicações específicas, suas vantagens e desvantagens e que se aplicam muito bem a determinadas condições compatíveis com as suas características mecânicas. Em sumo, os resultados indicaram que a alternativa de utilização do pavimento rígido, depende da relação entre custos e benefícios para cada situação específica (BENEDETTI, 2013).

## 2.2 Veículos de Carga

São diversos os aspectos a serem considerados no que diz respeito aos veículos que trafegam nas rodovias brasileiras. O Conselho Nacional de Trânsito- COTRAN, usando da competência que lhe confere o inciso I, do Art. 12, da lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito brasileiro-CTB, estabeleceu, os limites de dimensões e peso para veículos em trânsito livre. Para a elaboração dos estudos de tráfego são consideradas as seguintes dimensões:

I – largura máxima: 2,60m;

II – altura máxima: 4,40m;

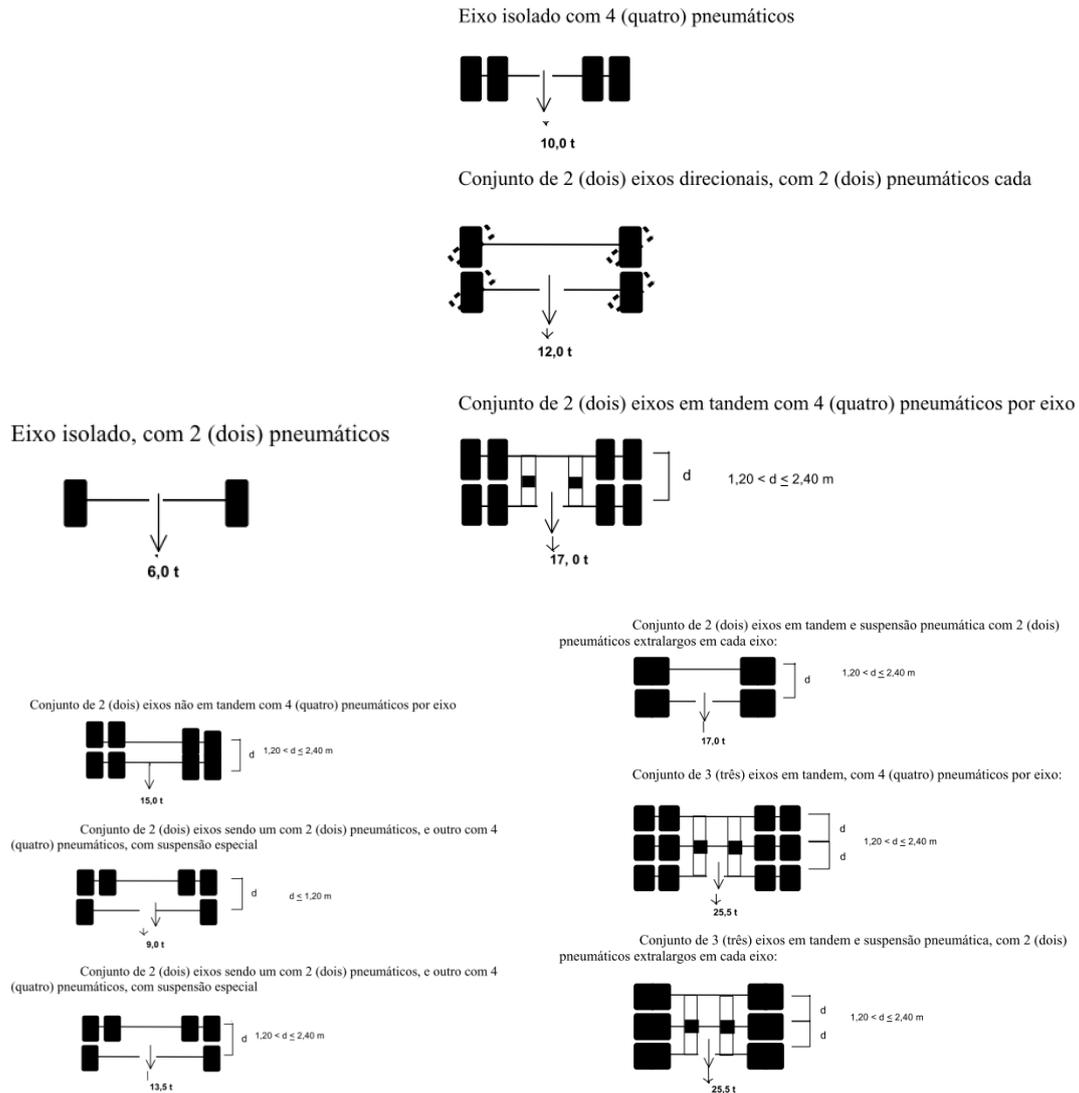
III – comprimento total:

- Veículos simples: 14,00m;
- Veículos articulados: 18,15m;

- Veículos com reboques: 19,80m.

Os veículos de carga no Brasil, para efeito de dimensionamento do pavimento, são classificados de acordo com o seu eixo. A Figura 4 apresenta a representação gráfica da distribuição dos pesos por eixo. A Figura 5 ilustra a classificação da frota circulante.

Figura 4. Representação gráfica da distribuição dos pesos por eixo.



Fonte: Brasil (2014)

Figura 5. Classificação da frota circulante

SÍMBOLO	CONFIGURAÇÃO	DESCRIÇÃO
		Automóvel
		Utilitário
2c		Ônibus
2c		Caminhão
3c		Caminhão
4c		Caminhão
2s1		Semi-reboque
2s2		Semi-reboque
2s3		Semi-reboque
3s2		Semi-reboque
3s3		Semi-reboque
2c2		Reboque
2c3		Reboque

Fonte: Brasil (2014)

### 2.2.1 Legislações para Veículos de Carga

De acordo com o CONTRAN (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO), através das Resoluções nº 12/98, 184/05 e nº 62/98, regulamentou os artigos 99 e 100 do código de trânsito Brasileiro, nos quais citam os limites de dimensões para peso bruto total e peso por eixo, que devem ser respeitados para todos os veículos de carga que circulam nas vias terrestres.

A Lei 7.408/85 determinou que fosse atribuída uma tolerância de 5% ao limite de 45.000 kgf para o PBT (Peso Bruto Total), passando o limite para a autuação para 47.250 kgf. Através da Resolução nº 104 de 21/12/99, o CONTRAN alterou a tolerância para 7,5%.

A Resolução nº 489 DE 05 DE JUNHO DE 2014 alterou a tolerância para 10% (dez por cento) sobre os limites de pesos regulamentares por eixo (CONATRAM, 1998).

A Quadro 2 apresenta as cargas legais e com excesso, permitidas por lei e a Figura 6 mostra as cargas legais por eixo de acordo com a Resolução nº 12/98 do CONTRAN.

Quadro 2. Cargas legais e com tolerância

Eixo/ Conjunto de eixos	Rodagem	Carga (kg)	Tolerância (10%)
Isolado	Simple	<sup>(1)</sup> 6000	6.600
Isolado	Simple	<sup>(2)</sup> 6000	6.600
Isolado	Dupla	10.000	11.000
Duplo	Simple	12.000	13.200
Duplo	Dupla	17.000	18.700
Duplo	Dupla	15.000	16.500
Duplo	Simple+dupla	9.000	9.900
Duplo	Simple+dupla	13.500	14.850
Duplo	Extralarga <sup>4</sup>	17.000	18.700
Triplo <sup>3</sup>	Dupla	25.500	28.050
Triplo <sup>3</sup>	Extralarga <sup>4</sup>	25.500	28.050

Fonte: Adaptado de Brasil (2014)

Figura 6. Cargas legais por eixo no Brasil

CARGA LEGAL (DNER)									
CLASSE / TIPO		CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				Σ		
			1º	2º	3º	4º			
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO								
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)	 							
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≥2C		4,0	7,5			11,5		
	TRIBUS								
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÕES	CAMINHÃO LEVE (60B e F4000)	2C LEVE		2,0	4,0			6,0
		CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	2C		6,0	10,0			16,0
			3C		6,0	17,0			23,0
			4C		6,0	25,5			31,5
		CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		6,0	10,0	10,0		26,0
			2S2		8,0	10,0	17,0		33,0
			2S3		6,0	10,0	25,5		41,5
			3S2		6,0	15,0	17,0		38,0
			3S3		8,0	15,0	25,5		48,5
		CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEIO E JULIETA)	2C2		6,0	10,0	10,0	10,0	36,0
			2C3		6,0	10,0	10,0	15,0	41,0
			3C2		6,0	15,0	10,0	10,0	41,0
			3C3		8,0	15,0	10,0	15,0	48,0
		"TREMINHÃO"	3C4		6,0	17,0	17,0	17,0	57,0

Fonte: Resolução nº 12/98 do CONTRAN (1998)

### 2.2.2 Veículos com AET

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) prevê a necessidade da Autorização Especial de Transito (AET), para os veículos que transportam cargas indivisíveis, com pesos e/ou dimensões excedentes (Art.101 e Resolução N 210/2006 do CONTRAN).

De acordo com o CONTRAN a Combinação de Veículo de Carga – CVC com mais de duas unidades, incluindo a unidade tratora, com peso bruto total acima de 57tf e/ou comprimento superior a 19,80m precisa da AET para circular. A autorização é concedida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no caso de rodovias federais e pelos órgãos estaduais e municipais dependendo da jurisdição.

## 2.3 TRÁFEGO

O objetivo do estudo de tráfego é obter através de métodos sistemáticos de coleta de dados, conhecer o número mais exato de veículos que circulam por uma via em determinado período, suas velocidades, os locais aonde se concentram os acidentes de trânsito (BRASIL, 2006). Este estudo permite a determinação quantitativa da capacidade da via e, conseqüentemente o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhor circulação tornando o projeto mais preciso e econômico.

A grande variação do tráfego ao longo dos meses do ano para a contagem do VDM (Volume Diário Médio ou VMD – Volume Médio Diário), além dos volumes diários máximos e mínimos e a variação de acordo com a utilidade da via podem gerar para cada via alterações diferentes no volume de tráfego. A previsão da variação do tráfego permite:

- Programar operações especiais para as diversas demandas como manutenção da via;
- Dimensionar os recursos necessários para manter o bom fluxo de tráfego da via e principalmente atender às necessidades dos usuários, (escolhe-se o horário mais adequado a fazer o trajeto).

Um dos fatores mais importantes para o motorista escolher um percurso, é o tempo da viagem que depende basicamente de dois fatores a distância a ser percorrida e a velocidade. A economia de tempo é um dos benefícios proporcionados, pelo investimento na via.

O conhecimento da natureza e quantidade dos veículos em circulação é um dos principais fatores a ser levado em consideração na elaboração de um projeto de pavimentação, pois através do conhecimento frota que serão feitos estudos econômicos, determinação das características geométricas, dimensionamento do pavimento da via em fase de projeto e determinação do nível de serviço da via (BRASIL, 2006).

Para a determinação do tráfego são utilizados equipamentos de contagem que estão espalhados por todo Brasil. A situação em 22/09/2014 era de 109 equipamentos instalados sendo 71 certificados e 38 em processo de certificação (Figura 7). Pois os dados só passam a valer para o sistema quando o equipamento for devidamente certificado e depois desse processo os dados podem se tornar públicos. Após a medição mensal os dados serão avaliados por critérios de qualidade e consistência de dados. O PNCT prevê uma instalação de 320 equipamentos ao todo (BRASIL, 2014).



Fonte: (BRASIL, 2014)

Os resultados podem ser visualizados via Sistema de Informações Gerenciais - SIG PNCT ou pela exportação de relatórios (estes relatórios são apresentados em diversos formatos: *word*, *excel* e *pdf*), os relatórios são volumétricos e classificatórios (por quarto de hora, hora, dia, semana e mês) por sentido e por faixa. Gerando gráficos do comportamento do volume de tráfego.

Diferentes informações estatísticas podem ser retiradas dos dados que estão sendo coletados, por exemplo, composição percentual do tráfego, composição percentual por período de tempo (hora, dia, mês), obtendo assim os fatores de sazonalidade, hora-pico e fator hora-pico (FHP), volume médio diário (VMD), VMDs (semanal), VMDm (mensal) e o anual (VMDA); volumes totais de tráfego (hora-pico, horário, diário, semanal, mensal e anual) por sentido e por faixa, volume horário de projeto (VHP), distribuição direcional e distribuição por faixa, Número N, unidade de carro de passeio (UCP), velocidades instantâneas, intervalo de tempo entre veículos (*Headway*), entre outros (BRASIL, 2014).

A avaliação do efeito do tráfego sobre os pavimentos é uma tarefa complexa o que torna uma grande dificuldade para conseguir a racionalização do projeto da estrutura dos pavimentos. Além de não possuir dados de todas as vias brasileiras.

Os fatores que contribuem para a complexidade desta avaliação são a heterogeneidade das configurações dos eixos dos veículos da frota e a variação nos valores das cargas nos eixos e da pressão de inflação dos pneus, bem como variação desta ao longo do período de vida útil do pavimento (BRASIL, 2006).

### 2.3.1. Composições do Tráfego

Para realização do projeto é necessário examinar todos os veículos em circulação, dividindo-os em classes. Os veículos motorizados são os seguintes de acordo com o Manual de Estudos de Tráfego, Ônibus Pesado, Ônibus Médio, Ônibus Leve, Carro Grande, Carro Médio, Carro Pequeno, Utilitário, Micro-ônibus, Motocicleta, Pick-up, Reboque/Semirreboque, Caminhão Pesado, Caminhão Médio, Caminhão Leve. Os seguintes fatores devem ser considerados para a composição do tráfego:

- Magnitude das cargas,
- Configuração das cargas,
- Número de repetições.

### 2.3.2. Número N

O número N é o número de eixos equivalentes ao eixo simples padrão, que no Brasil é de 8,2 tf ou de 80 KN. Este valor representa o tráfego atuante durante o período de projeto.

Para determinação do número N é necessário o conhecimento de determinados conceitos e parâmetros que são computados para o dimensionamento. Neste item são apresentadas informações sobre a avaliação da solicitação do tráfego, que é um dos principais componentes do dimensionamento do pavimento flexível. Para esta análise é preciso avaliar os seguintes elementos relativos ao tráfego:

- Volume médio diário anual (VMDA);
- Classificação da frota;
- Carregamento da frota;
- Fator de equivalência de carga;
- Número equivalente “N”.

O Volume médio diário anual deve ser baseado em contagens volumétricas e visa determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por vários pontos selecionados, classificatórias no trecho em análise os desvios de tráfego significativos devem ser levados em consideração, para a definição de subtrechos homogêneos em termos de tráfego (BRASIL, 2006). A estimativa de tráfego futuro será feita através do tráfego atual.

As taxas de crescimento do volume de tráfego poderão ser baseadas em series históricas existentes ou levantamento de dados socioeconômicos regionais. Um exemplo é a evolução da população e da renda per capita tem grande influência no crescimento da frota de automóveis, enquanto a produção industrial e agropecuária e venda de combustíveis podem ser associados ao crescimento da frota (BRASIL, 2006).

A grande diversidade de efeitos gerados pelos diferentes tipos de veículos sobre o pavimento levou o DNIT a classificar a frota especialmente no que se refere a veículos de carga. Por exemplo, os semirreboques são classificados em: 2S1; 2S2; 3S2, 2S3 (Figura 6).

O carregamento da frota é determinado pelos pesos dos eixos de cada um dos veículos de carga. A avaliação do efeito do tráfego sobre o pavimento é feita através da solicitação das cargas por eixo. Os procedimentos de pesagem são feitos por balanças

fixas ou portáteis e sistemas automáticos de pesagem, que permitem pesagem contínua por longos períodos.

A conversão de um tráfego misto em um número de equivalência por eixo padrão é efetuado aplicando-se os chamados Fatores de Equivalência de Cargas (FC). Para dimensionamentos de pavimentos flexíveis, no Brasil utilizam-se os FC do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE), como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3. Fatores de equivalência de carga do USACE

<b>Tipos de Eixos</b>	<b>Faixas de carga(tf)</b>	<b>Equações (P em tf)</b>
Eixo simples	0-8	$FEO=2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	$\geq 8$	$FEO=1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Eixo tandem duplo	0-11	$FEO=1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$
	$\geq 11$	$FEO=1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$
Eixo tandem triplo	0-18	$FEO=8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	$\geq 18$	$FEO=1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P= Peso bruto total sobre eixo		

Fonte: Adaptado de Brasil (2006)

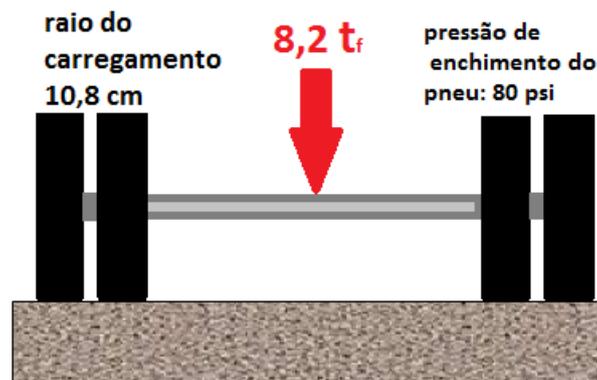
O cálculo do tráfego para o dimensionamento de pavimentos flexíveis é feito de acordo com o número N, representado pela repetição de eixos equivalente ao eixo padrão de 8,2 tf (ESP 8,2 tf ou de 80 KN). O N é o eixo de referência padrão vezes o número de repetições onde todos os eixos existentes são convertidos no padrão. Este cálculo é feito para toda a vida útil do pavimento estimando qual será o tráfego passante do começo ao fim do projeto.

O eixo padrão é um eixo simples de roda dupla com carga de 18.000 lb ou 8,2 tf e 80 psi de pressão de inflação dos pneus (Figura 8).

Quando o pavimento é solicitado por uma carga de veículo **Q**, que se desloca com uma velocidade **V**, recebe uma tensão vertical  $\sigma_o$  (de compressão) e uma tensão horizontal  $\tau_o$  (de cisalhamento), conforme apresentado na Figura 9 (SANTANA, 1993).

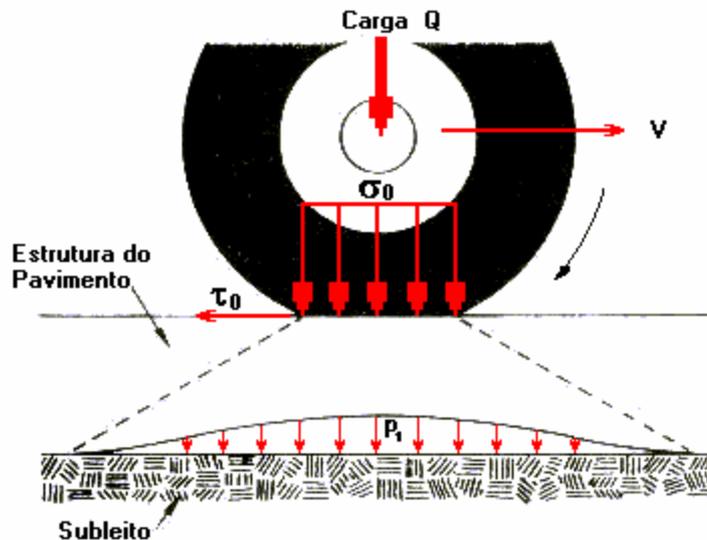
A variadas camadas componentes da estrutura do pavimento também terão a função de diluir a tensão vertical aplicada na superfície, de tal forma que o subleito receba uma parcela bem menor desta tensão superficial (P1).

Figura 8. Representação do ESP de 8,2 tf



Fonte: O Autor (2015)

Figura 9. Tensões atuante em um pavimento flexível



Fonte: Santana (1993)

Geralmente o período de projeto para pavimentos é de 10 anos. Portanto se faz a contagem de tráfego no ano do projeto e se projeta o crescimento para os próximos 10 anos o valor acumulado desde o ano inicial ao ano final corresponde ao número  $N$ .

Sobre as estradas circulam veículos que são representados por cargas, com configurações de eixo e combinações de pneus diferentes, de modo que foi estabelecido um eixo de referência que é utilizado para a conversão de todo o universo de eixos e cargas em um número equivalente de repetições deste eixo. No Brasil, o eixo de referência é o eixo simples padrão de 80 kN (8,2 tf) e pressão de pneu de 5,6 kgf/cm<sup>2</sup>.

Para o dimensionamento da estrutura de um pavimento é necessário determinar o valor de N, que é o número de repetições do eixo simples padrão (ESP) durante a vida de projeto de "t" anos, calculado através da Equação 1:

$$N = 365 \times VMD \times t \times FV \times FR \times FD \quad (1)$$

Onde:

365= quantidade de dias do ano;

N = número de repetições do eixo simples padrão de 80 kN;

VMD = volume médio diário de veículos que passa na faixa da via mais solicitada;

t = período de projeto (anos);

FV = fator de veículos;

FR = fator climático regional,

FD = Fator direcional.

O FV é obtido em função do fator de carga (FC) e do fator de eixos (FE), como apresentado na Equação 2:

$$FV = FC \times FE \quad (2)$$

O volume médio diário de veículos (VMD) é determinado para o ano de abertura do projeto a uma taxa de crescimento para toda vida útil do projeto. Faz-se uma contagem do tráfego na estrada que se está sendo avaliada através da contagem do número total de eixos e pesam-se todos esses eixos, exceto para os veículos de passeio que são desconsiderados por produzirem um impacto quase insignificativo.

São estabelecidos os seguintes conceitos: FE é um fator de eixos, isto é, um número que, multiplicado pelo número de veículos, dá o número de eixos correspondentes. FC é um fator de carga, ou seja, um número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, dá o número de eixos equivalentes ao eixo padrão. Assim, o FV é um fator de veículo, um número que multiplicado pelo número de veículos que operam e fornece diretamente, o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

## 2.4. Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

O dimensionamento da estrutura de um pavimento tem como objetivo o cálculo de espessuras e a escolha de materiais de forma que a vida útil do mesmo corresponda a certo número de solicitações de carga do projeto, tendo em conta determinados estados limites de utilização, de forma económica. Assim, além da avaliação da estrutura é necessário ainda realizar uma análise de custo benefício da estrutura projetada (BRASIL, 2006)

Apesar do processo de dimensionamento parecer simples, a sua aplicação a pavimentos rodoviários é complexa devida principalmente a dificuldade de estimativas confiáveis de fatores como (FONTES, 2009):

- Volume e magnitude do tráfego incidente;
- Interferência das condições climáticas;
- Caracterização mecânica dos materiais constituintes;
- Comportamento mecânico dos materiais ao longo do período de projeto;
- Ausência de metodologia adequada de dimensionamento;
- Fatores ligados ao projeto executivo;
- Gestão da manutenção da rodovia.

Os procedimentos adaptados pelos métodos de dimensionamento empíricos tiveram início através de experiência de campo, com base na observação do desempenho de pavimentos ao longo do tempo. Posteriormente, foram desenvolvidos os métodos empírico-mecanicistas que permitem a análise do estado de tensão e deformação ao qual o conjunto pavimento solo de fundação está submetido. Os modelos de cálculo dos métodos empírico mecanicistas baseiam se na teoria da elasticidade admitindo comportamento linear ou não linear das camadas do pavimento (FONTES, 2009).

No Brasil, comumente tem sido utilizado métodos empírico ou empírico mecanicistas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Entretanto, a partir da década de 80 do século passado, com o desenvolvimento de programas computacionais para a análise tensão e deformação de sistemas em camadas, a popularização dos computadores pessoais e a capacitação de laboratórios para a realização de ensaios representativos das condições de campo, a análise mecanicista passou a ser contemplada com objetivo de melhorar o dimensionamento da estrutura projetada (BRASIL, 2006).

Os métodos empíricos mecanicistas podem ser completados, contudo, por análises que permitam considerar, no dimensionamento de pavimentos novos, o trincamento por fadiga das camadas asfálticas através da aplicação de modelos de previsão de desempenho do tipo mecanicistas. Outra vantagem desses modelos, em relação àqueles puramente empíricos é a possibilidade de se otimizar o dimensionamento da estrutura, tomando-se partido da capacidade de cada camada em resistir aos processos de degradação provocados pelas cargas do tráfego. No caso de projetos de reabilitação, o dimensionamento das camadas asfálticas de reforço contra a propagação de trincas e a consideração dos efeitos de camadas especiais intermediárias pode ser efetuado de forma confiável apenas por meio de modelos mecanicistas (BRASIL, 2006).

#### 2.4.1 Método Empírico

O método AASHTO é um método empírico, pois foi baseado em critérios de desempenho obtido em pistas experimentais.

No Brasil, o método empírico de dimensionamento de pavimentos flexíveis mais utilizados até hoje foi proposto pelo Eng. Murillo Lopes de Souza na década de 1960, que é o método empírico de dimensionamento do DNIT. Foi baseado e adaptado do método desenvolvido pelo corpo de bombeiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) que originalmente era utilizado para dimensionamento de pavimento de aeroportos, e que utiliza o ensaio do Índice Suporte Califórnia (CBR). O método é conhecido como CBR.

O método do DNIT também considera o coeficiente de equivalência estrutural estabelecido na Pista experimental da *American Association of State Highway Officials* (AASHTO), Figura 10, que visam a proteção do solo de fundação (subleito) contra a geração de deformações plásticas excessivas durante o período de projeto (SOUZA, 1966; COUTINHO, 2011).

Figura 10. Pista de teste AASHTO



Fonte: FATEC (1960)

O método do DNER/81 é a maneira empírica de avaliar a capacidade de suporte do subleito para projetos de pavimentos no Brasil. Este método foi desenvolvido pela divisão de rodovias da Califórnia, com a coordenação de O. J. Porter no fim da década de 1920, a partir de estudos sobre as condições das rodovias do estado. Nessas rodovias foram estudados os fatores que teriam influenciado a ruptura do pavimento, sendo constatado que as principais causas das rupturas eram devidas à má compactação, o excesso de umidade no subleito, as espessuras de base insuficientes e as bases compostas por materiais com pouca resistência à tensão de cisalhamento. Diante destas constatações que foi criado o método brasileiro (SOUZA, 1966; COUTINHO, 2011). Por estas constatações eles resolveram realizar o ensaio após imersão do material por 4 dias e depois realizar o ensaio.

O método DNER/81 considera no dimensionamento as características que influenciam o desempenho estrutural do pavimento. É um ensaio simples e rápido de executar, e se utiliza em solos argilosos e arenosos. Entretanto possui limitações na avaliação das condições de contorno (materiais de construção, clima da região, condições de tráfego) o que não permite uma generalização adequada para outras regiões, diferentes materiais e diferentes cargas de tráfego (BEZERRA NETO, 2004).

A capacidade de suporte dos solos e dos materiais granulares é obtida através do Índice de Suporte Califórnia (CBR) de acordo com a norma DNER – ME 049 (1994), sendo estes resultados representativos da condição *in situ* da resistência destes materiais. Durante o dimensionamento, o método DNER/81 pode ser completado por

análises que permitam considerar, no dimensionamento, o problema do trincamento por fadiga das camadas asfálticas nos pavimentos flexíveis, caso dos métodos empírico-mecanicistas.

O primeiro passo no dimensionamento através do método DNER/81 consiste no levantamento do tráfego e a determinação do parâmetro de tráfego o número equivalente, durante o período de projeto escolhido.

O segundo passo do dimensionamento trata da avaliação da capacidade de suporte dos materiais componentes do pavimento base, sub-base, reforço do solo de fundação e solo de fundação, que compreendem as camadas granulares e os solos, através do CBR. Neste método, são adoptados coeficientes de equivalência estrutural obtidos na pista experimental da AASHTO, como por exemplo,  $k = 1$  para camadas granulares e  $k = 2$  para camadas com concreto asfáltico.

O método estabelece, ainda, algumas exigências no respeitante à qualidade dos materiais constituintes do pavimento através da fixação de valores mínimos de CBR das camadas de reforço do solo de fundação, de sub-base e de base. O DNIT indica o uso de corpos de prova indeformados ou moldados em laboratório com as condições esperadas em campo.

Para garantir que o pavimento não sofra ruptura precoce, o método exige que os materiais utilizados na sua construção possuam certas características, conforme o seguinte:

- Material de subleito:  $CBR \geq 2 \%$ ; Expansão menor que 2%.
- Material para reforço do subleito: CBR maior que o do subleito, e expansão menor que 1%.
- Material para sub-base:  $CBR \geq 20\%$ , expansão menor que 1 % e Índice de Grupo (IG) igual a zero.
- Material para base:  $CBR \geq 80\%$ , expansão menor que 0,5%,  $LL \leq 25 \%$  e  $IP \leq 6 \%$  (LL = Limite de liquidez, IP = Índice de plasticidade).

Através dos valores de N e o CBR dos materiais (camadas granulares e solos), o método DNER/81 estabeleceu a seguinte metodologia de cálculo:

**(i) espessura total do pavimento ( $H_t$ )**

A espessura total do pavimento é obtida em função de N e do CBR do solo de fundação é dada pela Equação 3:

$$H_m = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR_{SF}^{-0,598} \quad (3)$$

Onde:

$H_m$  = espessura total do pavimento necessária para proteger o solo de fundação com  $CBR_{SF}$ ;

N = número de repetições do eixo simples padrão de 80 kN durante a vida de projeto;

$CBR_{SF}$  = Índice de Suporte Califórnia do solo de fundação.

Esta espessura é calculada em termos de material com  $K = 1$ , ou seja, em termos de base granular. No caso de ocorrência de materiais com  $CBR_{SF}$  inferior a 2 deve-se fazer a substituição, na espessura de, pelo menos, 1 metro, por material com CBR superior a 2.

**(ii) espessura mínima do revestimento (R)**

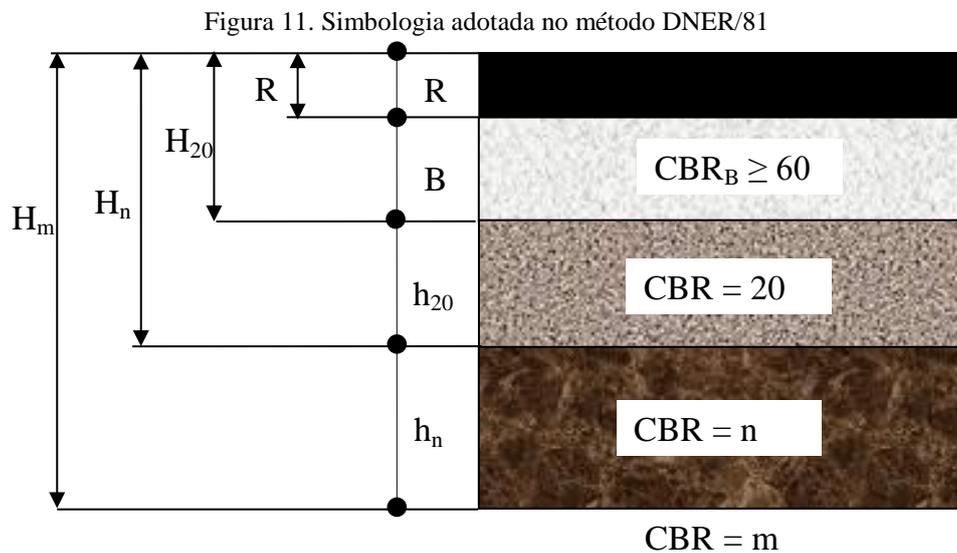
A da espessura mínima dos revestimentos betuminosos neste método depende do número N (Quadro 4) e visa proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego e evitar a rotura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração.

Quadro 4. Espessura mínima do revestimento

N	Espessura mínima do revestimento asfáltico
$N \leq 10^6$	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: Adaptado de Brasil (2006)

A espessura construtiva mínima das camadas granulares é de 15 cm. A Figura 11 apresenta simbologia utilizada no dimensionamento do pavimento.



Fonte: Fontes (2009)

Na Figura 11, a simbologia adotada representa o seguinte:

- $H_m$  designa a espessura total de pavimento necessário para proteger um material com  $CBR = m$ ;
- $h_n$  representa a espessura de camada do pavimento com  $CBR = n$ ;
- $H_{20}$  caracteriza a espessura de pavimento sobre a sub-base. Mesmo que o CBR da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se esse valor fosse 20 e, por esta razão, usam-se sempre os símbolos,  $H_{20}$  e  $h_{20}$  para designar as espessuras de pavimento sobre sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente;
- Os símbolos  $B$  e  $R$  designam, respectivamente, as espessuras de base e de revestimento.

Uma vez determinadas as espessuras  $H_m$ ,  $H_n$ ,  $H_{20}$ , através da Equação 3, e de  $R$  pelo Quadro 4, as espessuras de base ( $B$ ), sub-base ( $h_{20}$ ) e reforço do subleito ( $h_n$ ), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$RK_r + BK_b \geq H_{20} \quad (i)$$

$$RK_r + BK_b + h_{20}K_s \geq H_n \quad (ii)$$

$$RK_r + BK_b + h_{20}K_S + h_nK_{rev} \geq H_m \quad (\text{iii})$$

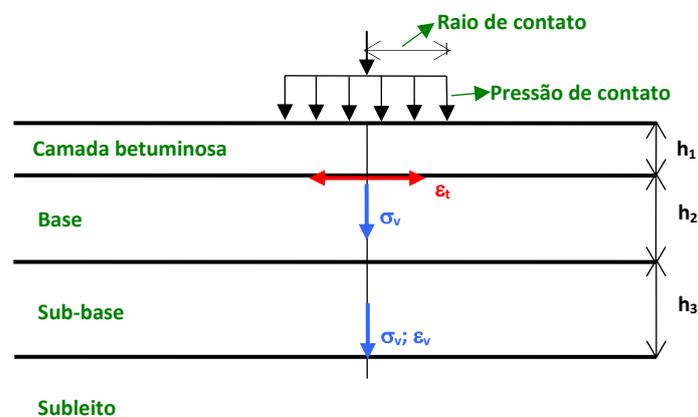
Quando o CBR da sub-base for maior ou igual a 40 e para  $N \leq 10^6$ , admite-se substituir na inequação (i),  $H_{20}$  por  $0,8xH_{20}$ . Para  $N > 10^7$ , recomenda-se substituir, na inequação (i),  $H_{20}$  por  $1,2xH_{20}$ .

#### 2.4.2 Metodologia Empírico-Mecanicista

Nos métodos empírico-mecanicistas, as degradações consideradas preponderantes para o dimensionamento de pavimentos flexíveis novos são o trincamento por fadiga das camadas asfálticas (devido ao tráfego e às ações climáticas) e a deformações permanentes das camadas inferiores. Com o dimensionamento por camadas possibilita a compatibilização das espessuras com as características dos materiais disponíveis. Na análise empírico-mecanicista de uma estrutura de pavimento os principais parâmetros avaliados são os seguintes, apresentados na Figura 12:

- Deformação de tração ( $\epsilon_t$ ) na fibra inferior da camada betuminosa, para controle do trincamento por fadiga;
- Estado de tensão no topo da camada de base, importante em estruturas com revestimentos delgados para se controlar a rotura por corte;
- Tensão ( $\sigma_v$ ) ou deformação vertical ( $\epsilon_v$ ) no topo do subleito para controle da deformação permanente.

Figura 12. Parâmetros avaliados na análise empírico-mecanicista



Fonte: Fontes (2009)

O estado de tensão e deformação ao qual o pavimento está submetido é calculado através de programas computacionais que simulam o comportamento da estrutura quando submetida à ação das cargas, que pode ser elástico linear ou não linear.

Na análise linear, cada camada é simulada por um meio elástico linear, homogêneo e isotrópico, de modo a ter-se um modelo estrutural simples e capaz de reproduzir as tensões e deformações como as obtidas em pavimentos instrumentados. Além disto, este modelo incorpora a dependência dos módulos de elasticidade dos materiais constituintes do pavimento em função do estado de tensões ao qual o pavimento está submetido.

Em 1885, Boussinesq desenvolveu uma teoria para um semi-espaço homogêneo, isotrópico e elástico linear que permite calcular a tensão em qualquer ponto no interior da massa e o deslocamento na superfície provocado por uma carga atuante em um ponto qualquer da superfície do meio elástico. A partir da teoria de Boussinesq, em 1945, Burmister desenvolveu soluções para um sistema constituído por três camadas. Com auxílio de programas computacionais de análise tensão-deformação, estas soluções são bastante utilizadas nos estudos envolvendo camadas múltiplas.

Algumas suposições básicas são consideradas para a solução do problema do sistema de camadas elásticas como:

- Cada camada é homogênea, isotrópica, e elástica linear com módulo elástico (E) e coeficiente de Poisson ( $\nu$ );
- As camadas são admitidas infinitas na direção lateral e finitas em profundidade;
- A camada final (solo de fundação) é considerada infinita em profundidade.

## **2.5 Deteriorações do Pavimento**

Os defeitos na superfície do asfalto têm algumas causas como final da vida útil de projeto, por excesso de carga, por falha de execução ou por erro de projeto. Estes defeitos podem ser identificados facilmente e classificados de acordo com uma terminologia normalizada. Estes defeitos prejudicam a capacidade de carga da via além de torná-la mais perigosa.

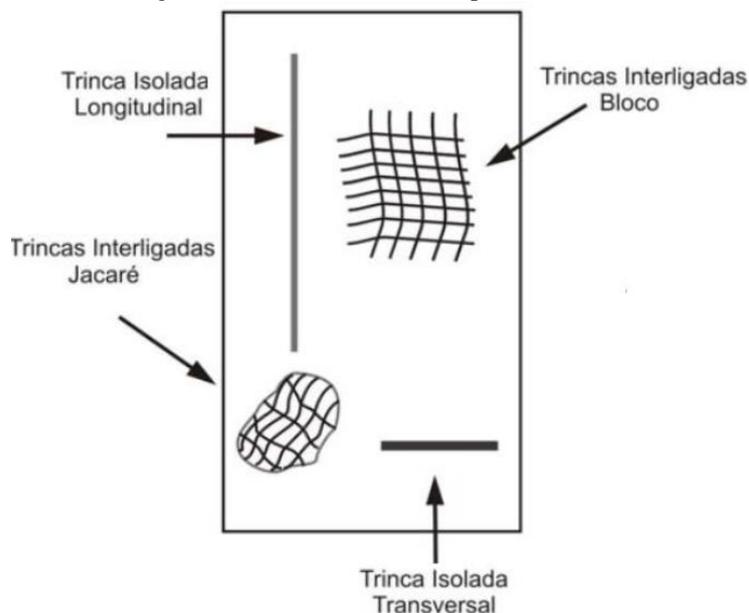
### 2.5.1 Tipos de Defeitos

Os defeitos ou patologias são avaliados de acordo com a norma TER 05/2006 do DNIT. De acordo com esta normativa, são listados a seguir os principais defeitos que ocorrem nos pavimentos brasileiros tendo em conta o excesso de peso, o tráfego atuante, a ação das intempéries, os métodos construtivos, os materiais utilizados e a metodologia de dimensionamento adotada. A seguir são apresentadas as principais patologias evidenciadas nos pavimentos brasileiros.

#### *Fendas*

- a) Fenda é qualquer descontinuidade na superfície do pavimento que conduza a aberturas de menor ou maior porte.
- b) Fissura é uma fenda com largura capilar perceptível a uma distância menor que 1,50 metros.
- c) Trinca é uma fenda no revestimento de fácil visualização. A figura 13 ilustra alguns tipos de fendas nos pavimentos.

Figura 13. Ilustra as fendas em pavimentos.



Fonte: Brasil (2006)

- d) Trinca interligada ou “Couro de Jacaré” (Figura 14) conjunto de trincas que se unem de formas variadas assemelhando se ao couro do animal. Que depois podem formar erosão.

Figura 14. Trincas tipo couro de jacaré

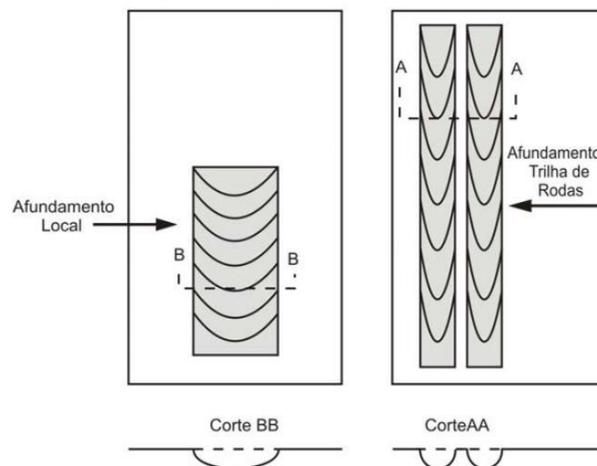


Fonte: Brasil (2006)

### *Afundamento*

Afundamento é a deformação permanente caracterizada por afundamento da superfície do pavimento também conhecida como trilha de roda (Figura 15)

Figura 15. Tipos de afundamentos



Fonte: Brasil (2006)

### *Outros defeitos*

Ondulação é a deformação caracterizada por ondulações transversais na superfície do pavimento. Exsudação é causada por excesso de ligante betuminoso na superfície devido a migração do ligante através do revestimento. Desgaste devido ao arrancamento de agregado da superfície do revestimento é causado por esforços tangenciais do tráfego. Buraco ou panela (Figura 16) é a cavidade que se forma no revestimento por diversas causas que gera um deslocamento de camadas de revestimento asfáltico podendo alcançar camadas inferiores do pavimento.

Figura 16. Buraco ou panela



Fonte: Brasil (2006)

## 2.6 Fiscalização de Excesso de Peso em Rodovias Brasileiras

A tolerância com o excesso de peso causa concorrência desleal entre caminhoneiros e prejudica o transportador que cumpre a lei. Portanto a cada dez caminhões com excesso de 10% na carga, um fica sem trabalho. Sem a adoção de um rigoroso controle a maior parte da carga transportada não é fiscalizada. Além disso, muitas balanças operam apenas durante o dia, no horário comercial, permanecendo inoperantes aos sábados, domingos e feriados. É extremamente importante que todos os postos funcionem todos os dias, durante 24 horas, para que todos os veículos sejam efetivamente fiscalizados e não trafeguem com sobrepeso maior que 10% pois o prejuízo se torna ainda maior (BORGES, 2012).

### 2.6.1. Multas por Excesso de Peso

A resolução nº 258/07 – CONTRAN estabeleceu um valor a ser pago para os veículos que trafegarem com carga acima da qual a lei permite, representados através do Quadro 5.

Quadro 5. Multa por sobrepeso de acordo com resolução nº 258/07 – CONTRAN

	<b>EXCESSOS</b>	<b>INFRAÇÃO</b>	<b>VALOR(R\$)</b>
A	Até 600 kgf	Média	R\$ 85,13
B	De 601 kgf a 1000 kgf	Grave	R\$ 127,69
C	Acima de 1001 kgf	Gravíssima	R\$ 191,54 aplicado a cada 500 kgf de excesso

Fonte: Brasil (2007)

### 2.6.2 Consequências do Excesso de Peso

No dimensionamento dos pavimentos rodoviários, o excesso de peso é considerado um dos principais responsáveis pela rápida deterioração das rodovias brasileiras. Na engenharia rodoviária, a vida útil de projeto é determinada por cálculo de acordo com a norma técnica, que determina o equivalente em números de solicitação do eixo padrão, por exemplo, para uma mesma carga, quanto menor o número de eixos de um veículo, maior o valor equivalente em número de solicitações do eixo padrão, devido a maior concentração da carga.

Por essa razão, mesmo existindo limites de peso bruto total (PBT) e peso bruto total combinado (PBTC), além dos limites relacionados a capacidade máxima de tração do veículo, o que efetivamente contribui para a degradação acelerada do pavimento é o excesso de peso por eixo.

Segundo Borges (2012) testes desenvolvidos desde a década de 1950 pela AASTHO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*, concluem que o desgaste do pavimento aumenta exponencialmente com a carga por eixo. Esse expoente varia entre 3 e 6, de acordo com o tipo e estrutura do pavimento. Para efeitos práticos e didáticos, se aceita, internacionalmente, como um valor médio aplicável à relação entre excesso de peso e degradação do pavimento, um expoente igual a 4, o que determina o que é conhecido como a Lei da Quarta Potência.

Deste modo, uma sobrecarga de 2% equivale em uma destruição do pavimento maior que 8%. Uma sobrecarga de 4%, equivale a destruição de mais de 17% por isso

uma sobrecarga de 20%, mais que dobra a destruição do pavimento. Com base ainda na Lei da Quarta Potência, tomando como exemplo um pavimento projetado para uma vida útil de 10 anos, com uma sobrecarga de 5% a vida útil do pavimento será reduzida em mais de 3 anos. Caso a sobrecarga passe para 7,5 %, a vida útil é reduzida quase à metade.

Estudos desenvolvidos no LASTRAN – Laboratório de Sistemas de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, demonstraram que a inexistência de fiscalização do excesso de peso em uma rodovia aumenta em 33% seus custos de manutenção (LASTRAN, 2012).

Com estes dados fica evidente que o excesso de peso por eixo gera consequências indesejáveis, a deterioração acelerada da camada de revestimento e da estrutura do pavimento. Gerando aumento de gastos de manutenção e restauração viária, os usuários da rodovia também são prejudicados, por terem seu conforto e segurança comprometidos.

### 2.6.3 Postos de pesagem

O Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem tem como objetivo a contratação de empresas ou consórcios de empresas para a execução de serviços inerentes à preservação da integridade da infraestrutura e da segurança do trânsito das rodovias federais pavimentadas sob a jurisdição do DNIT, mediante uso de sistemas fixos e portáteis (móveis) de pesagem dinâmica e sistemas complementares associados (BRASIL, 2012).

Com a utilização dos sensores de pesagem do PIAF (Postos Integrados Automatizados de Fiscalização), há a possibilidade de analisar os veículos dentro da via sem a necessidade de alterar a rota. Isso é feito por meio de câmeras, sensores de escâner a laser e fotos, a sobrecarga é identificada automaticamente. Deste modo apenas veículos com peso acima do permitido terão que passar por painéis eletrônicos e reduzir a velocidade para passar pela balança de precisão. Um dos principais objetivos do PIAF é aumentar a precisão da detecção do sobrepeso e diminuir os custos. (LABTRANS, 2014).

O PIAF é resultado de um estudo trabalhado na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) por meio do LabTrans (Laboratório de Transportes e Logística), em

parceria com o DNIT. Os testes dessa nova tecnologia são feitos desde 2009 na BR-101, em Araranguá Santa Catarina.

A expectativa é que os 35 primeiros PIAFs (Postos Integrados Automatizados de Fiscalização) entrem em operação no início de 2017. De acordo com o DNIT, atualmente, há 73 PPVS (Postos de Pesagem Veicular) em funcionamento no Brasil, que foram construídos na década de 1970 e fazem o controle de pesagem manualmente por agentes de trânsito. Destes, 41 são fixos e 32 móveis (CNT 2015). Um maior detalhamento dos postos de pesagem pode ser obtido na página do DNIT (<http://www.dnit.gov.br/@@busca?SearchableText=pesagem>).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1.MATERIAIS

Os materiais utilizados para o dimensionamento, apresentados nos itens seguintes, são: o tráfego, os materiais constituintes das camadas (tipo, CBR e módulos) e, as leis de fadiga das misturas asfálticas.

##### 3.1.1 Contagem de Tráfego

O tráfego foi obtido em função da contagem do número de veículos ou pesagem de eixos. Neste trabalho, para o cálculo do número N, a contagem foi a escolhida por apresentar uma distribuição de tráfego semelhante com as principais estradas do Brasil. A contagem bidirecional anual dos veículos comerciais que trafegam na via, considerando o carregamento máximo que utilizada neste trabalho está representada no Quadro 6.

Quadro 6. Contagem de veículos

<b>Veículo</b>	<b>Quantidade</b>
2C	88.000
3C	112.000
2S2	36.000
2S3	104.000
3S3	24.000
2C2	4.000
3C3	32.000
<b>Total</b>	<b>400.000</b>

Fonte: O Autor (2015)

##### **Quantidades de Eixos de Cada Veículo**

Cada eixo gera um dano diferente ao pavimento devido a sua carga, por isso o DNIT classifica os caminhões em eixos de acordo com o seu peso e número de pneus. De acordo com os tipos de veículos na corrente de tráfego (Quadro 6), a quantidade e tipo de eixos estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7. Quantidade de eixos por veículo

Veículo	SRS	SRD	ED	TD	TT
2C	1	1			
3C	1			1	
2S2	1	1		1	
2S3	1	1			1
3S3	1		1		1
2C2	1	3			
3C3	1	1	2		

Fonte: O Autor (2015)

No Quadro 7, os símbolos significam o seguinte:

- SRS – Eixo Simples de Rodas Simples;
- SRD – Eixo Simples de Rodas Duplas;
- ED - Eixo Duplo;
- TD - Eixo Tandem Duplo;
- TT- Eixo Tandem Triplo.

Para cada tipo de eixo, o CONTRAN estabelece a carga ou o limite legal, como mostrado no Quadro 8, de acordo com o apresentado na Tabela 1 e na Figura 6.

De acordo com a Resolução nº 489 do CONTRAN de 05 de junho de 2014, é permitido um acréscimo de carga, por eixo, de 10%, conforme apresenta o Quadro 9.

Quadro 8. Carga legal por eixo

Eixo	Limite Legal (tf)
SRS	6,00
SRD	10,00
ED	15,00
TD	17,00
TT	25,50

Fonte: O Autor (2015)

Quadro 9. Carga legal +10% por eixo

Eixo	Limite + 10% (tf)
SRS	6,60
SRD	11,00
ED	16,50
TD	18,70
TT	28,05

Fonte: O Autor (2015)

### ***Conversões dos eixos para o eixo padrão***

Para a conversão de um tráfego misto em um número de equivalência ao eixo padrão é efetuado o cálculo aplicando-se os Fatores de Equivalência de Cargas (FC). Para dimensionamentos de pavimentos flexíveis, no Brasil utilizam-se os FC do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE), (Quadro 3).

Após a aplicação dos Fatores de Equivalência de Carga calculada para cada eixo e multiplicando-se os resultados pelo número de eixos, têm-se os Fatores de Carga de cada eixo, como apresentado no Quadro 10 e no Quadro 11, para a carga legal e para a carga legal com um acréscimo de 10% na tolerância de peso, respectivamente.

Quadro 10. Fator de equivalência da carga legal por eixo

Eixo	Carga Legal (tf)	FC
SRS	6,00	0,2779
SRD	10,00	3,2895
ED	15,00	4,3034
TD	17,00	8,5488
TT	25,50	9,2998

Fonte: O Autor (2015)

Quadro 11. Fator de equivalência da carga legal + 10% por eixo

Eixo	Carga Legal + 10% (tf)	FC
SRS	6,60	0,4076
SRD	11,00	5,9740
ED	16,50	7,2578
TD	18,70	14,4179
TT	28,05	15,8270

Fonte: O Autor (2015)

### **Fatores de Veículo**

Considerando os eixos combinados dos veículos, para o cálculo dos Fatores de Veículos (FV), os eixos são somados individualmente. Estes números representam o dano causado por cada veículo sobre o pavimento. Os FVs de cada veículo, para a carga legal e com tolerância de 10% são mostrados nos Quadros 12 e 13, respectivamente.

Quadro 12. Fator veículo para carga legal

Veículo	SRS	SRD	ED	TD	TT	FVI
2C	0,2779	3,2895				3,5674
3C	0,2779			8,5488		8,8267
2S2	0,2779	3,2895		8,5488		12,1162
2S3	0,2779	3,2895			9,2998	12,8672
3S3	0,2779		4,3034		9,2998	13,8811
2C2	0,2779	9,8684				10,1463
3C3	0,2779	3,2895	8,6068			12,1741

Fonte: O Autor (2015)

Quadro 13. Fator veículo para carga legal + 10%

Veículo	SRS	SRD	ED	TD	TT	FVI
2C	0,4076	5,9740				6,3816
3C	0,4076			14,4179		14,8255
2S2	0,4076	5,9740		14,4179		20,7995
2S3	0,4076	5,9740			15,8270	22,2086
3S3	0,4076		7,2578		15,8270	23,4924
2C2	0,4076	17,9220				18,3296
3C3	0,4076	5,9740	14,5156			20,8972

Fonte: O Autor (2015)

Como cada veículo gera um dano diferente foi feita a média ponderada entre o dano do veículo pela quantidade de cada um deles, ou seja, cada veículo apresenta uma determinada porcentagem de uso da via e o seu FV também é representado em função da sua porcentagem. Os resultados são mostrados no Quadro 14 de acordo com a carga legal e no Quadro 15 para a tolerância de 10%.

Quadro 14. Dano carga legal

Veículo	Quantidade	%	FVi x (%)/100
2C	88000	22	0,7848
3C	112000	28	2,4715
2S2	36000	9	1,0905
2S3	104000	26	3,3455
3S3	24000	6	0,8329
2C2	4000	1	0,1015
3C3	32000	8	0,9739
<b>Total</b>	<b>400000</b>	<b>100</b>	<b>9,6006</b>

Fonte: O Autor (2015)

Quadro 15. Dano carga legal +10%

<b>Veículo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>	<b>FVi x (%)/100</b>
2C	88000	22	1,4039
3C	112000	28	4,1511
2S2	36000	9	1,8719
2S3	104000	26	5,7742
3S3	24000	6	1,4095
2C2	4000	1	0,1833
3C3	32000	8	1,6718
<b>Total</b>	<b>400000</b>	<b>100</b>	<b>16,4657</b>

Fonte: O Autor (2015)

De acordo com os resultados apresentados nos Quadros 14 e 15, o FV para a carga legal é de 9,6006 e para a carga legal mais 10% de tolerância, de 16,4657. Um aumento de 10% de peso resulta num aumento de 71% do dano total causado pelos veículos, pois o aumento de peso gera um aumento exponencial do dano causado ao pavimento pelo veículo.

No dimensionamento de pavimentos flexíveis no Brasil, a vida útil ou de projeto é de 10 anos. Neste estudo foram adotados o fator climático regional igual a 1 e o fator direcional igual a 0,5 (valor utilizado em geral pelo DNIT).

Para o crescimento do tráfego, a taxa foi adotada de acordo com o Estudo de Viabilidade das Rodovias do Mercosul Convênio-DNER/IME, com um valor de 3,86% ao ano, sendo calculada em progressão geométrica.

O número N foi calculado de acordo com a Equação 1, sendo para a vida útil do pavimento solicitado pela carga legal o resultado é mostrado no Quadro 16. O número N para a carga legal mais 10 % é apresentado no Quadro 17.

Nos Quadros 16 e 17, os parâmetros tem o seguinte significado:

- TMDA: Tráfego médio diário anual;
- $N_{ano}$ : Número N do ano;
- $N_{acum}$ : Número N acumulado.

Quadro 16. Número N para carga legal

Ano	TDMA	Nano	Nacum
Base (0)	1096	1,92E+06	
1	1129	1,99E+06	1,99E+06
2	1163	2,07E+06	4,06E+06
3	1198	2,14E+06	6,20E+06
4	1234	2,22E+06	8,42E+06
5	1271	2,29E+06	1,07E+07
6	1309	2,37E+06	1,31E+07
7	1348	2,44E+06	1,55E+07
8	1388	2,51E+06	1,80E+07
9	1430	2,59E+06	2,06E+07
10	1473	2,66E+06	2,33E+07

Fonte: O Autor (2015)

Quadro 17. Número N para carga legal +10%

Ano	TDMA	N+10% ano	Nacum
Base (0)	1096	3,30E+06	
1	1129	3,42E+06	3,42E+06
2	1163	3,55E+06	6,97E+06
3	1198	3,68E+06	1,06E+07
4	1234	3,80E+06	1,44E+07
5	1271	3,93E+06	1,84E+07
6	1309	4,06E+06	2,24E+07
7	1348	4,18E+06	2,66E+07
8	1388	4,31E+06	3,09E+07
9	1430	4,44E+06	3,54E+07
10	1473	4,56E+06	3,99E+07

Fonte: O Autor (2015).

O número N significa que o revestimento deve suportar o número de repetições do eixo padrão, no período de projeto, sem que ocorra dano no pavimento para esta

quantidade de solicitações prevista. Este valor representa o tráfego atuante durante o período de projeto.

Para determinação do número N é necessário o conhecimento de determinados conceitos e parâmetros que são computados para o dimensionamento. O número N para veículos com carga legal é de  $2,33.10^7$  solicitações enquanto para o eixo padrão com carga legal +10% é de  $3,99.10^7$  solicitações dos veículos. Isso significa que para um aumento de 10% de peso equivale a um aumento de 71% do número de solicitações de veículos com eixo padrão. Vale resaltar que este aumento em porcentagem é igual ao aumento do Fator Veículo(FV), pois na Equação 1, a única diferença para os dois casos é o aumento do (FV) quando a carga aumenta 10%.

### 3.1.2 Tipo e materiais constituintes das camadas

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento, serão adotados os seguintes materiais, com base em dados comumente existentes em rodovias brasileiras:

- CBR do subleito: 10%;
- CBR da base: mínimo de 60%;
- CBR da sub-base: 20%.

### 3.1.3 Módulos e Leis de Fadiga

Os módulos das misturas asfálticas utilizadas foram as obtidas por Fontes (2009), como apresentado no Quadro 18. Neste caso, foram utilizadas duas misturas, sendo a mistura convencional, especificada pelo DNIT, faixa “C” (NORMA), com teor de asfalto de 5,5% (aqui denominada como BBB) e a mistura com asfalto modificado com borracha com 15% de borracha incorporada, com teor de asfalto de 7,5%, especificada pelo *Asphalt Institute* e denominada IBB151. (Mais detalhes, realizar consulta em Fontes, 2009).

Quadro 18 – Módulos dinâmicos das misturas

Misturas	BBB	IBB151
Módulo (MPa)	6314	4909

Fonte: Fontes (2009)

As leis de fadiga estão expressas como apresentado na Equação 4:

$$N = a \left( \frac{1}{\varepsilon} \right)^b \quad (4)$$

Onde:

$\varepsilon$  = deformação específica de tração na fibra inferior da camada asfáltica;

a e b = constantes experimentais.

O Quadro 19 apresenta os dados das curvas de fadiga utilizadas.

Quadro 19 – Leis de fadiga das misturas

Misturas	a	b
BBB	$1,18510^{15}$	-4,037
IBB151	$2,031 \times 10^{21}$	-5,915

Fonte: Fontes (2009)

## 3.2 MÉTODO

### 3.2.1 Marcha de cálculo

O método adotado constitui-se no seguinte:

- Dimensionamento das estruturas dos pavimentos pelo método do DNIT, com o tráfego, representado pelo número N, para a carga legal e para a carga com acréscimo de 10% sobre a carga legal;
- Com as estruturas do DNIT, fez-se o dimensionamento por meio da metodologia empírico-mecanicista com o uso do *software* BISAR 3.0;
- Adequação da estrutura dimensionada pela metodologia empírico-mecanicista para atendimento do tráfego imposto;
- Comparativo das estruturas.

### 3.2.2 Aplicação do *software* BISAR 3.0

O dimensionamento pelo método empírico-mecanicista foi realizado pelo *software* BISAR 3.0.

O programa BISAR 3.0 utiliza um sistema de camadas elásticas para o cálculo de tensões e deformações nas diversas camadas. Para tanto, são necessários os dados de tráfego, módulos e espessuras das camadas, além do coeficiente de Poisson. O dimensionamento com sistemas em camadas usando teorias elásticas possibilita a compatibilização das espessuras com as características dos materiais.

A solução de problemas de sistema de camadas elásticas leva-se em conta algumas suposições básicas como:

- A cada camada é homogênea, isotrópica, e elástica linear com módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson ( $\nu$ );
- As camadas são admitidas infinitas na direção lateral e finitas em profundidade;
- A camada final (subleito) é considerada infinita em profundidade.

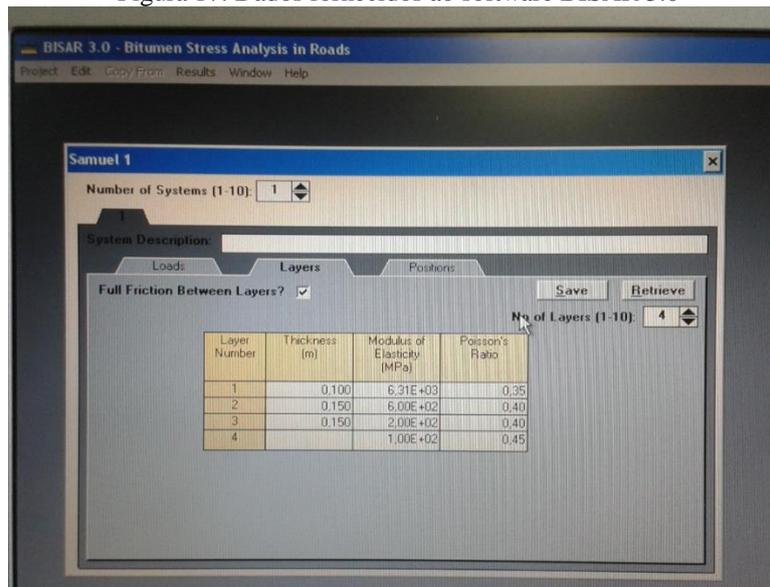
O *software* BISAR 3.0 avalia os seguintes indicadores de durabilidade do pavimento:

- Deflexão na superfície (Fadiga);
- Deformação de tração na fibra inferior da camada de revestimento (Fadiga);
- Tensão vertical de compressão no topo do subleito (Deformação permanente).

A primeira iteração começa com a estrutura calculada por algum método empírico, neste caso, pelo DNIT, DNER/81. Posteriormente a avaliação, a estrutura pode resultar subdimensionada ou superdimensionada. As leis de fadiga são utilizadas para a comparação com o número N (do tráfego) e o *software* fornece as deformações específicas de tração resultantes das camadas asfálticas. Assim, trabalha-se com iterações com as modificações da estrutura até que alcance a vida útil de projeto. As Figuras 17 a 18 ilustram a aplicação deste *software*.

A Figura 17 mostra os dados de entrada como as espessuras, os módulos e os coeficientes de Poisson.

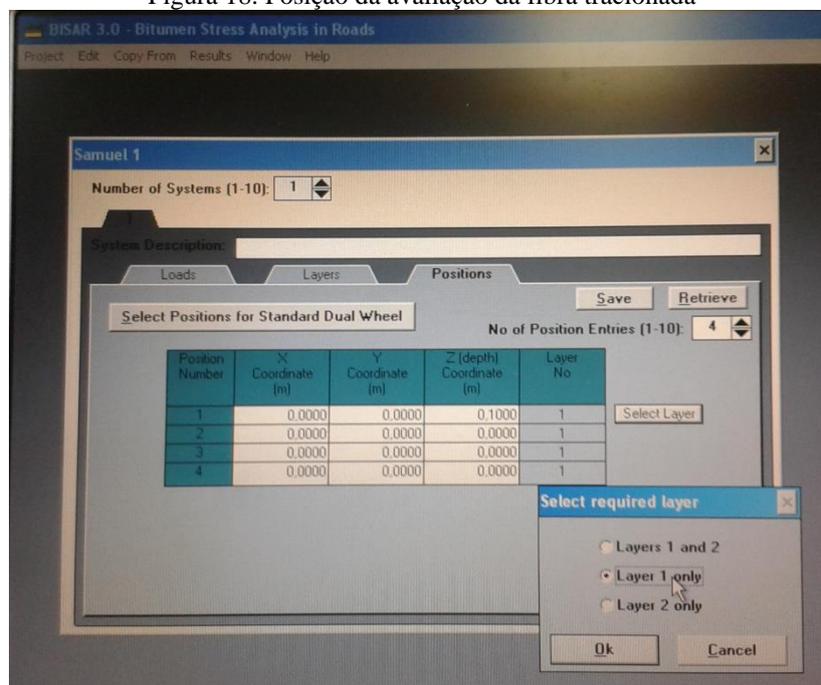
Figura 17. Dados fornecidos ao software BISAR 3.0



Fonte: O Autor (2015)

É preciso também informar ao programa em qual posição deve-se avaliar a deformação de tração. Neste caso é sempre a fibra inferior da camada de revestimento que é avaliada a sua deformação de tração, de acordo com a Figura 18.

Figura 18. Posição da avaliação da fibra tracionada



Fonte: O Autor (2015)

O resultado fornecido pelo BISAR 3.0 é  $\epsilon$  (deformação de tração) da fibra indicada na Figura 18. O resultado demonstrado conforme a Figura 19:

Figura 19. Resultado fornecido pelo *software* BISAR 3.0

	I	J	K	L	M	N
11	0.000E+00	0.000E+00	1.050E-01	0.000E+00	1.575E-01	0.000E+00
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21	Strain	Strain	Strain	Displacement	Displacement	Displacement
22	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
23	μstrain	μstrain	μstrain	(μm)	(μm)	(μm)
24	1.200E+02	-1.799E+00	-7.514E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.320E+02
25	-1.418E+02	-2.707E+01	9.095E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.309E+02
26	-1.418E+02	-2.707E+01	9.095E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.309E+02
27	-1.418E+02	-2.707E+01	9.095E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.309E+02

Fonte: O Autor (2015)

O programa fornece  $\epsilon$  (deformação de tração) da fibra inferior do revestimento asfáltico que não é o resultado final da avaliação. Para se obter o resultado esperado o  $\epsilon$  é substituído na lei de fadiga do revestimento para se obter o número N causado pelo tráfego no pavimento. O resultado final é obtido comparando o número N da estrutura calculado com o número N do tráfego atuante no pavimento. O objetivo final é a equivalência dos dois resultados.

A análise mecanicista (linear) do Programa BISAR 3.0 utilizada a geometria no carregamento como um eixo simples de roda dupla de 80 kN, carga em cada pneu de 20kN e espaçamento entre rodas de 0,1575 m.

## 4. RESULTADOS

Neste trabalho foi realizado o dimensionamento de uma estrutura de pavimento flexível para dois tipos de tráfego, para avaliar o impacto da adoção da lei dos 10%. Os dimensionamentos são apresentados nos itens seguintes.

### 4.1 Espessuras do pavimento flexível pelo método DNER/81

A estrutura do pavimento flexível foi calculada pelo método empírico do DNIT, DNER/81, que é o método oficial de dimensionamento do Brasil.

Inicialmente foi calculada a espessura da camada superficial que é o revestimento em concreto asfáltico. De acordo com o Quadro 2 e um número  $N = 2,33 \times 10^7$  o revestimento do pavimento flexível solicitado com a carga legal terá espessura de 10,00 cm em concreto asfáltico.

De acordo com o Quadro 4 e o número  $N$  de  $3,99 \times 10^7$  o revestimento do pavimento flexível solicitado com a carga legal + 10% terá espessura de 10,00 cm de concreto asfáltico.

Para determinar as espessuras  $H_m$ ,  $H_n$ ,  $H_{20}$  do pavimento foi utilizada a Equação 3 que obtiveram os resultados conforme o Quadro 20. Estas espessuras são as calculadas de proteção de cada camada. Para se obter as espessuras das camadas foi preciso solucionar as inequações (i, ii e iii).

Quadro 20. Espessuras  $H_m$ ,  $H_n$ ,  $H_{20}$

Camada	CBR	Número N	Espessura
Carga legal			
$H_{20}$	60	$2,33 \cdot 10^7$	15,2
$H_n$	20	$2,33 \cdot 10^7$	29,3
$H_m$	10	$2,33 \cdot 10^7$	45
Carga legal + 10%			
$H_{20}$	60	$3,99 \cdot 10^7$	15,6
$H_n$	20	$3,99 \cdot 10^7$	30,1
$H_m$	10	$3,99 \cdot 10^7$	46

Fonte: O Autor (2015)

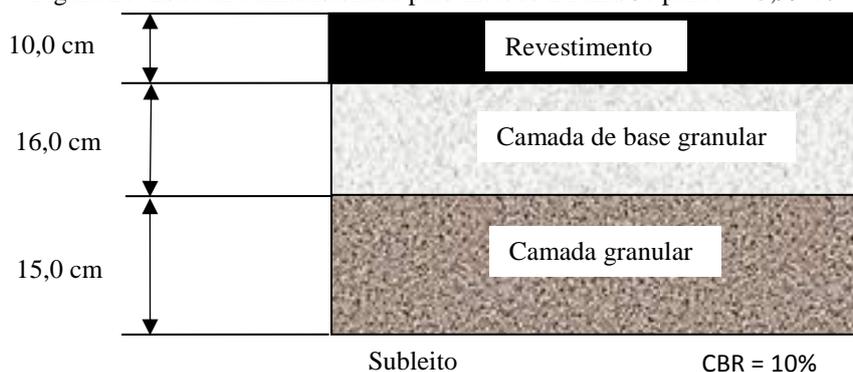
As Figuras 20 e 21 apresentam as soluções obtidas de dimensionamento pelo Método do DNIT.

Figura 20. Estrutura dimensionada pelo método DNER/81 para  $N = 2,33 \cdot 10^7$



Fonte: O Autor (2015)

Figura 21. Estrutura dimensionada pelo método DNER/81 para  $N = 3,99 \cdot 10^7$



Fonte: O Autor (2015).

Pode-se observar que as estruturas são praticamente iguais, não levando em consideração o aumento do número  $N$ .

#### 4.2. Espesuras do pavimento flexível pelo método empírico-mecanicista

O dimensionamento pelo método empírico mecanicista foi realizado com auxílio do *software* BISAR 3.0. A estrutura do pavimento para os dois tráfegos foi dimensionada pelo método empírico do DNIT, DNER/81, foi a estrutura inicial para a utilização do programa BISAR 3.0.

A primeira iteração com a estrutura calculada pelo método empírico do DNIT, é constituída com os seguintes materiais:

- Camada revestimento mistura convencional (BBB), com módulo de elasticidade de 6314MPa e coeficiente de Poisson de 0,35 com uma espessura de 10 cm;
- Camada de base granular com CBR de 60%, módulo de elasticidade de 600 MPa e coeficiente de Poisson de 0,4 com 15 cm de espessura para carga legal e 16 cm de espessura para carga legal mais +10%;
- Camada granular com CBR de 20%, módulo de elasticidade de 200 MPa e coeficiente de Poisson de 0,4 com 15 cm de espessura, para ambas cargas;
- Subleito com CBR de 10%, módulo de elasticidade de 100 MPa e coeficiente de Poisson de 0,45.

Para a simulação no programa BISAR 3.0 foi adotada a estrutura mostrada no Quadro 21 sendo que foram variados, a cada simulação, as espessuras das camadas e, mantidas as demais características. O Quadro 21 apresenta os dados de entrada relativos aos materiais das camadas.

Quadro 21 – Estruturas avaliadas

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. de Poisson
Revestimento	10-80	Variável	0,35
Base granular	15-30	600	0,40
Camada granular	15-30	200	0,40
Subleito	$\infty$	100	0,45

### ***Carga legal e legal + 10%***

A primeira interação foi feita de acordo com os dados obtidos pelo dimensionamento conforme o método DNER/81 para veículos trafegando com carga legal, do qual se obteve uma estrutura com 10cm de camada de revestimento, 15cm de camada de base granular e 15cm de camada granular. De acordo com o método DNER/81 deve suportar um tráfego com número N de repetições igual a  $N = 2,33 \times 10^7$  durante a vida do projeto que é igual a 10 anos.

O resultado da primeira interação da deformação de tração na fibra inferior da camada de revestimento foi de 332 ( $\mu\text{m/m}$ ) que de acordo com a lei de fadiga da

mistura BBB (Equação 4) resultou em  $N=7,87 \times 10^4$  repetições de eixo padrão. Este resultado muito inferior ao obtido pelo número N de projeto ( $2,33 \times 10^7$ ), indicando que a estrutura do DNIT estaria subdimensionada, o que terá como resultado a redução da vida útil da estrutura e nos primeiros anos haveria problemas estruturais.

A segunda interação também foi feita de acordo com os dados obtidos pelo método DNER/81. Neste caso foram analisados os resultados considerando a solicitação por veículos trafegando com carga legal mais tolerância de 10 % de peso. Pelo método empírico se obteve uma estrutura com 10cm de camada de revestimento, 16cm de camada de base granular e 15cm de camada granular.

Nesta situação, seria gerada uma deformação de tração na fibra inferior da camada de revestimento igual a 327 que de acordo com a Equação 4 resultaria em um  $N=8,37 \cdot 10^4$ . Ainda que, de acordo com os dados levantados anteriormente nesse estudo, tenha nos revelado que um acréscimo de 10% no peso dos veículos gera um aumento muito grande na quantidade de solicitações do eixo padrão.

Como esta estrutura não foi suficiente para suportar o tráfego atuante durante o período de vida útil do pavimento foi preciso fazer outras interações, alterando-se as espessuras das camadas até se atingir a solicitação calculada para veículos trafegando na via com carga legal e com carga legal mais + 10%.

A terceira interação foi feita para se obter através da espessura do pavimento uma estrutura que atinja a solicitação real da via (alcançar o número N de tráfego). Portanto foi proposta uma estrutura com 20 cm de camada de revestimento, 30 cm de camada de base granular e 30 cm de camada granular que é uma estrutura muito mais robusta em relação à calculada pelo método empírico.

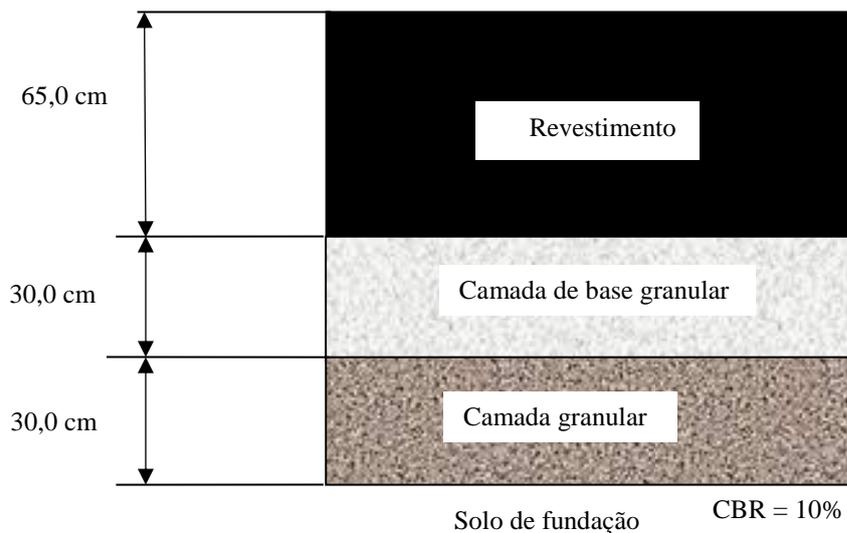
Nesta situação se obteve uma deformação específica de tração de 155 na fibra inferior a camada de revestimento gerando assim um  $N=1,7 \cdot 10^6$ . Este resultado mostrou um aumento do número de solicitações exigido, sem, no entanto ainda, atingir o N de projeto.

Para este caso, decidiu-se manter a estrutura e espessuras das camadas granulares optando-se por alterações na camada asfáltica. A metodologia adotada foi de um aumento de 10 em, por iteração, da camada de revestimento até se chegar numa solicitação mais próxima da calculada para o tráfego imposto.

Foram realizadas mais cinco interações até obter uma espessura de 70 cm de revestimento asfáltico. A qual se obteve um resultado um pouco maior do que exigido para suportar um tráfego com carga legal o que gerou um  $N=3,19 \cdot 10^7$ .

Foi ainda reduzido 5 cm da camada de revestimento na última interação do revestimento para gerar uma estrutura que suporte o tráfego da via. A camada com 65 cm de camada de revestimento, 30 cm de camada de base granular e 30 cm de camada granular suporta  $2,46 \cdot 10^7$  de solicitações do eixo padrão que foi calculada como sendo de  $2,33 \cdot 10^7$  solicitações para a via, como mostrado na Figura 22.

Figura 22. Primeiro resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga legal

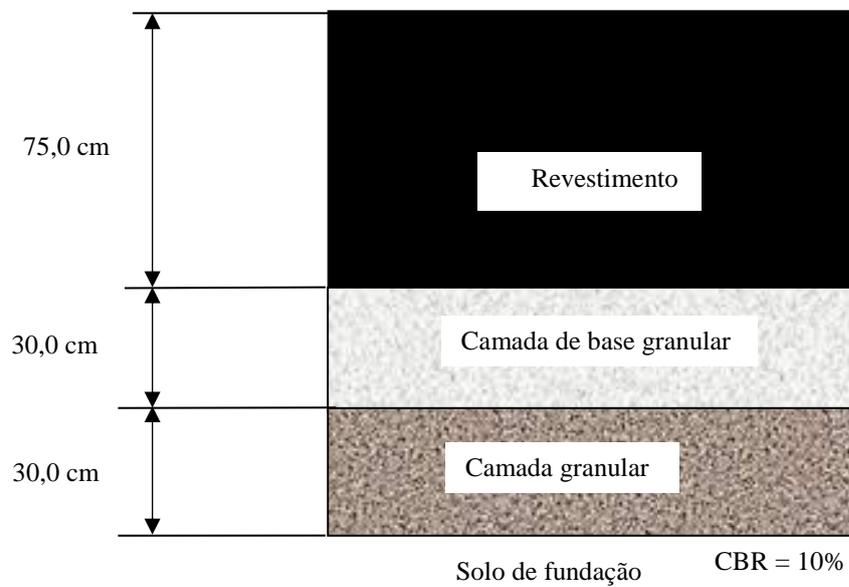


Fonte: O Autor (2015)

Tendo como objetivo avaliar a tolerância de peso permitida por eixo no dimensionamento de pavimentos flexíveis é preciso fornecer a estrutura que suporte a solicitação de um tráfego com carga legal mais 10%. A estrutura obtida é formada por uma camada com 75 cm de revestimento betuminoso, 30 cm de camada de base granular e 30 cm de camada granular suporta  $3,98 \cdot 10^7$  de solicitações do eixo padrão que é praticamente igual a calculada no estudo da via de  $3,99 \cdot 10^7$  solicitações, como apresentado na Figura 23.

O resultado fornecido pelo programa BISAR 3.0 se mostrou mais coerente que o do DNIT em relação a diferença de espessura do pavimento ao se comparar o tráfego legal com o de sobrepeso de 10%.

Figura 23. Primeiro resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga legal mais 10%

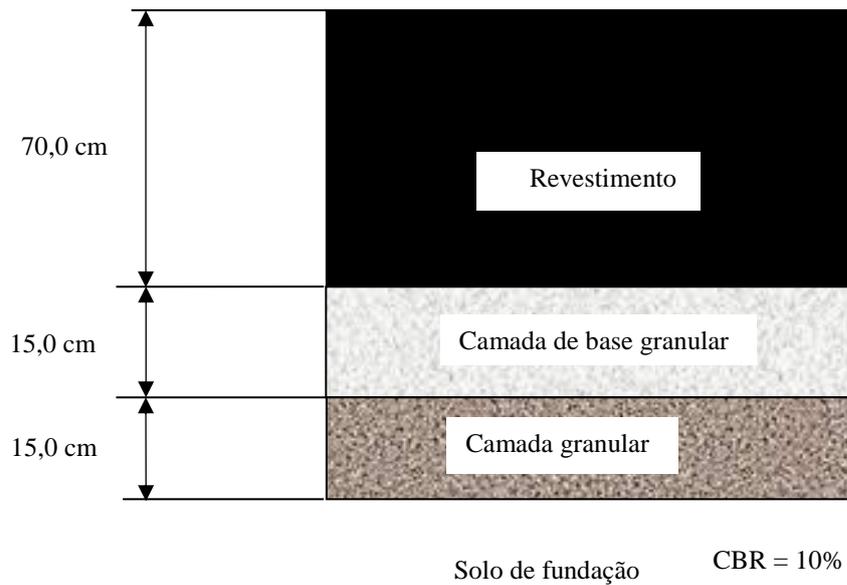


Fonte: O Autor (2015)

E ainda foi feita a suposição de manter a camada granular conforme calculado pelo método DNER/81 e apenas aumentar a espessura do revestimento para observar apenas a diferença na espessura da camada de rolamento.

A espessura do revestimento considerando o tráfego legal foi de 70 cm ou seja, 60 cm a mais de revestimento asfáltico, o que é uma diferença muito grande do resultado comparando o método empírico com o empírico-mecanicista (Figura 24).

Figura 24. Segundo resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga legal

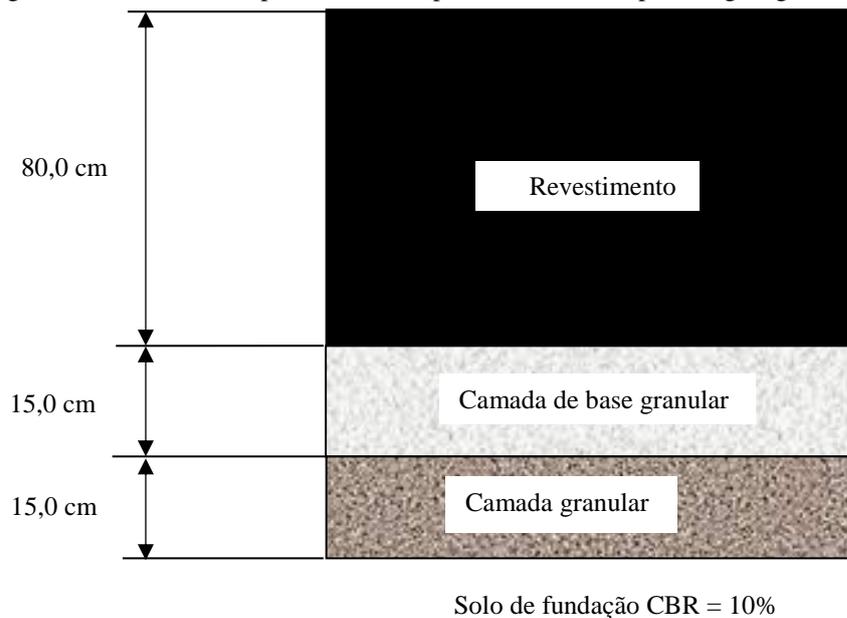


Fonte: O Autor (2015)

Quando se considera um tráfego com tolerância de peso de 10% se obtém uma estrutura um pouco mais robusta que a anterior, e tem como resultado uma camada de revestimento asfáltico de 80 cm, a espessura aumentou 10 cm, o aumento corresponde a um ganho de 14,28% na espessura do pavimento para um aumento de peso de 10 % (Figura 25).

Por outro lado se houver um aumento de 10% no tráfego e não se aumentar a estrutura do asfalto, diminuirá bruscamente a vida útil da via.

Figura 25. Segundo resultado obtido pelo método empírico-mecanicista para carga legal mais 10%



Fonte: O Autor (2015)

Comparando os resultados das camadas granulares de 15cm com a de 30cm percebe-se que dobrando estas camadas se consegue apenas uma diminuição de 5cm na espessura da camada de asfalto.

Desta forma, considerou-se trabalhar com a espessura do revestimento betuminoso para resistir ao esforço restante gerado pelo tráfego no pavimento.

## Asfalto borracha

Considerando os resultados obtidos, foi possível observar que as misturas convencionais já não atendem ao dimensionamento de cargas elevadas impostas pelo tráfego. Desta forma, optou-se pela utilização de mais uma camada na estrutura do pavimento para se obter uma melhor diluição dos esforços entre as camadas. Foi introduzida na estrutura uma camada com mistura asfáltica com asfalto modificado com borracha (IBB151).

Com auxílio do *software* BISAR 3.0, novamente foi calculada a deformação específica de tração na fibra mais tracionada do asfalto borracha que corresponde, agora, à segunda camada do pavimento.

É importante acrescentar que com a presença da mistura com asfalto borracha é tem-se lei de fadiga para esta mistura que está representada na Equação 5.

Para um  $N = 2,53 \cdot 10^7$  gerado pelo tráfego normal obteve-se uma estrutura mais fina constituída de um revestimento de asfalto convencional de 5 cm mais 5 cm de asfalto borracha abaixo, 20 cm de base granular, 20 cm de camada granular e solo de fundação com CBR 10%. A Figura 26 mostra a estrutura resultante.

Figura 26. Resultado obtido pelo método empírico-mecanicista utilizando asfalto borracha para carga legal



Fonte: O Autor (2015)

O pavimento solicitado pela carga legal mais um limite de 10% foi preciso apenas aumentar 2,5 cm da camada de revestimento com a mistura BBB para se alcançar um número  $N$  de solicitações igual a  $4,30 \cdot 10^7$ . A Figura 27 mostra a estrutura resultante.

Figura 27. Resultado obtido pelo método empírico-mecanicista utilizando asfalto borracha para carga legal mais 10%



Fonte: O Autor (2015)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura de um pavimento é dimensionada para um determinado período de vida durante o qual deve ter a capacidade de receber e transmitir esforços, sem apresentar degradações estruturais e funcionais durante o limite de tempo predeterminado. De modo que a estrutura funcione adequadamente, as camadas que a compõe devem estar submetidas a esforços compatíveis com as suas características e capacidade estrutural, de modo a não ocorrer ruptura prematura de qualquer um dos materiais que constituem as camadas do pavimento.

Os resultados obtidos através da combinação de diferentes estruturas deve apresentar a capacidade de suportar a solicitação do tráfego durante toda a vida útil. Será analisada a capacidade da via de suportar o tráfego atuante, seja o tráfego legal ou legal mais acréscimo de peso de 10% que depois será comparada a diferença da vida útil com acréscimo de 10 % em relação ao tráfego com carga legal.

Neste trabalho foi realizado o estudo para se conhecer o impacto gerado pela lei dos 10% sobre a vida útil do pavimento.

Os resultados obtidos são complexos, uma vez que não são lineares e sim exponenciais e inversamente proporcionais.

E também porque para um aumento de 10% de peso se tem um aumento de quase o dobro para o número N.

O aumento gerado na espessura das camadas do pavimento fica em torno de 15%, pois com o aumento de espessura aumenta exponencialmente a resistência ao impacto gerado pelo tráfego. E assim um aumento muito grande do número N não se reflete na mesma proporção do aumento da espessura do pavimento, deste modo o resultado final da espessura do pavimento fica apenas um pouco maior que o aumento da proporção do peso do veículo.

Observou-se uma diferença muito grande de resultados comparando os métodos empírico e empírico mecanicista. Esta pode ser uma das explicações para a pouca e reduzida durabilidade das estradas do Brasil.

Os objetivos do trabalho foram alcançados. Constatou que haverá muito prejuízo se os veículos trafegarem com carga legal mais sobrepeso de 10 %, e este acréscimo de

valor não for levado em consideração para o dimensionamento das rodovias de pavimento flexível como ocorre atualmente no país.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como este tema é muito relevante no cenário atual do Brasil acredita-se que seja importante continuar a desenvolver estudos relacionados nesta área. E para isso são propostos estudos para trabalhos futuros:

- Fazer um levantamento de quanto peso que normalmente os veículos estão acima do permitido;
- Realizar um diagnóstico das consequências para o fluxo de automóveis quando tem um veículo com AET circulando;
- Fazer uma análise para indicar os benefícios econômicos quando se calcula o pavimento para uma vida útil de 20 anos ou mais;
- Desenvolver uma demonstração teórica que relacione aumento de peso no veículo com diminuição da vida útil do pavimento;
- Pesquisar qual tipo de defeito se agravou mais após a lei entrar em vigor.
- Fazer o levantamento da diferença de custo para execução da estrutura do pavimento flexível, obtido pelo dimensionamento para carga legal e carga legal +10%.

## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Liedi Bariani.; MOTTA, Laura Maria Goretti ; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES; Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BEZERRA NETO, Rogério Silveira. **Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados através dos Métodos Empírico do DNER e Mecanicístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (MS)**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. São Carlos, 2004.

BORGES, Rodrigo César Neiva. **Fiscalização de Excesso de Peso em Rodovias. 2012. 18 f.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Câmara dos Deputados, Brasília Df, 2012. Disponível em: <[http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema14/2012\\_4329.pdf](http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema14/2012_4329.pdf)>. Acesso em: 6 set. 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Estudos de Tráfego. Rio de Janeiro, 2006

\_\_\_\_\_. **Manual de pavimentação**. 3. Ed. – Rio de Janeiro, 2006.

CALDAS, C. R.1, Carneiro, T.2 ; Godoi, B.3 , Moni, J. P.4 , Santana Filho, M.5 , Pimenta, S. E. M.6 Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil Moreira, A. N. H.7 Professor, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil.2015.

Confederação Nacional dos Transportes – CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2014: relatório gerencial**. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2014.

Conselho nacional de Trânsito – CONTRAN. **Resolução CONTRAN nº 12**, de 6 de fevereiro de 1998. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres.

COUTINHO, J.C.P. 2011. **Dimensionamento de Pavimento Asfáltico**: Comparação do Método do DNER com um Método Mecanicístico - Empírico aplicada a um trecho. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP.

MARQUES, G. L. O. E MORAIS, W. M. “Estudos de Deformações Permanentes em Pré-Misturados a Frio Através de Ensaios Estáticos”. Relatório final de pesquisa FAPEMIG PROC. TEC 1415/97 , 2007.

FONTES, Liseane Padilha Thives da Luz. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos**. Tese (Doutorado) - Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, 2009.

MARQUES, G. L. O. E MORAIS, W. M. “**Estudos de Deformações Permanentes em Pré-Misturados a Frio Através de Ensaio Estáticos**”. Relatório final de pesquisa FAPEMIG PROC. TEC 1415/97 , 2007.

PARANÁ, Mário Henrique Furtado Andrade. UFPR. **INTRODUÇÃO À PAVIMENTAÇÃO**. Curitiba, 2015. 64 p

SANTANA, H. Manual de Pré-misturado a Frio. IBP. Rio de Janeiro: Comissão de Asfalto. 1993.

SOUZA, M. L. **Método de projeto de pavimentos flexíveis** DNER. - 1966.