



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ÍCARO SUTIL MARTINS

**LEVANTAMENTO DAS CARGAS TRANSPORTADAS NO MODAL RODOVIÁRIO
NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS E SUA INFLUÊNCIA NO
DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

**Alegrete
2015**

ÍCARO SUTIL MARTINS

**LEVANTAMENTO DAS CARGAS TRANSPORTADAS NO MODAL RODOVIÁRIO
NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS E SUA INFLUÊNCIA NO
DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc. Jaelson Budny

**Alegrete
2015**

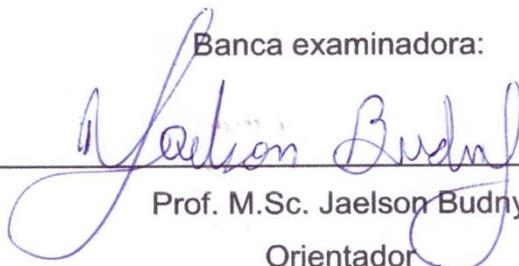
Ícaro Sutil Martins

**LEVANTAMENTO DAS CARGAS TRANSPORTADAS NO MODAL RODOVIÁRIO
NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS E SUA INFLUÊNCIA NO
DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de dezembro de
2015.

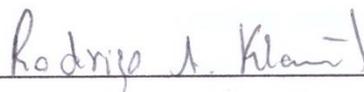
Banca examinadora:



Prof. M.Sc. Jaelson Budny

Orientador

Unipampa



Prof. M. Eng. Rodrigo Klamt

Unipampa



Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

Unipampa

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Gilmar e Nilza, e ao meu irmão, Iago, grandes incentivadores e fontes inigualáveis de apoio, amor incondicional e compreensão.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo cuidado e por ter me cercado de pessoas maravilhosas que contribuíram para minha formação.

Ao Prof. Me. Jaelson Budny pela orientação, amizade e apoio prestado ao decorrer deste trabalho.

Aos professores, minha eterna gratidão pela condução do curso em todos os sentidos

Aos colegas de curso pelo convívio e momentos de amizade vividos durante a graduação.

A cooperativa que cedeu os dados realizados nesta pesquisa.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

“ Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas! ”

Mario Quintana

RESUMO

As rodovias brasileiras, sejam elas federais, estaduais ou municipais, possuem sérios problemas relativos à sua qualidade. É fato que a malha rodoviária está aquém das necessidades de um país como o Brasil, que é a sétima maior economia do mundo. Sabe-se que a condição de uma rodovia é determinada por fatores relativos a asfaltos de má qualidade, erros de projeto, excesso de peso sendo transportado e falta conservação da rodovia. Em relação ao peso transportado tem-se uma dificuldade muito grande de fiscalização dos veículos transportadores. A dificuldade é ainda maior quando é realizado o transporte de grãos a granel, visto que o movimento do veículo, faz com que a carga mude constantemente no trajeto. Além disso, tem-se o fato de que veículos utilizados para esse fim coletam os grãos diretamente nos produtores rurais e trafegam por rodovias sem fiscalização até levar às indústrias de beneficiamento. Este transporte, da lavoura até o beneficiamento, é onde existe a maior probabilidade de que seja transportada uma carga superior à carga permitida. Sabendo-se disso, procurou-se coletar os dados de recebimento de grãos em uma cooperativa de arroz da região do município de Alegrete-RS. Com os dados dos veículos utilizados no transporte foi possível classificá-los de acordo com a configuração de eixos e calcular o excesso de carga em relação aos limites legais vigentes no país. Com o auxílio de uma ferramenta de uso computacional, o SisPav, desenvolvido e em constante melhora desde 2007, dimensionou-se uma rodovia padrão considerando apenas os limites de carga legais para cada eixo. A vida útil foi estipulada em 10 anos e foram encontradas as espessuras das camadas do pavimento. Após isso, mudou-se apenas a carga dos eixos, agora contando com o excesso de carga. Com isso foi verificada uma redução na vida útil do pavimento, que mostra a influência do excesso de carga no desempenho dos pavimentos flexíveis.

Palavras-Chave: Excesso de carga, Transporte de carga, Limites legais de transporte, SisPav, Transporte de grãos, Dimensionamento de pavimentos flexíveis, Redução da vida útil.

ABSTRACT

The Brazilian highways, whether federal, state or local, have serious problems related to their quality. It is a fact that the road network is below the needs of a country like Brazil, which is the seventh largest economy in the world. It is known that the condition of a road is determined by factors related to poor quality asphalt, design errors, excess weight being transported and lack of highway maintenance. Regarding the weight carried has been a great difficulty for monitoring transport vehicles. The difficulty is even greater when the bulk transportation of grains is used, since the vehicle motion causes changes occurring during the loading path. In addition, there is the fact that vehicles used for this purpose collect the beans directly to farmers and travels over untended roads even lead to processing industries. The crop transportation, from processing to improvement, has the highest probability that a load greater than the permissible will be transported. Knowing that, we tried to collect the grain data received in rice cooperatives in the city of Alegrete region. With the data of vehicles used for transportation, it was possible to classify them according to the axis configuration and calculate the excess burden relative to current legal limits in the country. With the help of a computational tool, the SisPav, developed and constantly improved since 2007, a standard highway is scaled by considering only the legal load limits for each axis. The lifetime was set at 10 years and found the thickness of the pavement layers. After that, it moved just a load of axles, now relying on overcharging. A reduction in the life of the floor, which displays the influence of excess load on the performance of flexible pavements with this has been verified.

Keywords: Overloading , Shipping , Legal Limits of transport, SisPav , Grain Transportation, Design of flexible pavements , Reduction useful life of the pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz de transportes no Brasil	13
Figura 2 – Ilustração do sistema de camadas de um pavimento	18
Figura 3 – Pavimento de concreto – seção longitudinal.....	19
Figura 4 – Colocação das barras de transferência	19
Figura 5 – Lançamento do concreto	20
Figura 6 – Adensamento.....	20
Figura 7 – Estrutura do pavimento asfáltico.....	21
Figura 8 – Brita gradua simples	22
Figura 9 – Macadame seco.....	23
Figura 10 – Solo-brita	23
Figura 11 – Solo areia.....	24
Figura 12 – Trincas longitudinais curtas	25
Figura 13 – Trincas longitudinais longas	26
Figura 14 – Trincas de retração	26
Figura 15 – Trincamento por fadiga	27
Figura 16 – Afundamento por consolidação localizado.....	27
Figura 17 – Afundamento por consolidação em trilha de roda.....	28
Figura 18 – Afundamento plástico nas trilhas de roda	28
Figura 19 – Corrugação	29
Figura 20 – Exsudação	30
Figura 21 – Desagregação.....	30
Figura 22 – Painela.....	31
Figura 23 – Remendo mal executado	31
Figura 24 – Remendo bem executado.....	32
Figura 25 – Estágio 1 de transmissão de carga.....	37
Figura 26 – Estágio 2 de transmissão de carga.....	38
Figura 27 – Estágio 3 de transmissão de carga.....	38
Figura 28 – Transmissão de cargas no pavimento rígido	39
Figura 29 – Execução do sistema WIN.....	41
Figura 30 – Selagem de aberturas.....	41
Figura 31 – Instalação finalizada	41
Figura 32 – Dados a serem informados.....	45

Figura 33 – Relatório do veículo	45
Figura 34 – RSC 377 Trecho Alegrete – Manoel Viana	48
Figura 35 – Aba Estrutura	50
Figura 36 – Aba Modelagem.....	51
Figura 37 – Aba Carregamento.....	52
Figura 38 – Aba Clima	53
Figura 39 – Relatório de dimensionamento	58
Figura 40 – Relatório dimensionamento sobrecarga	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites da resolução nº 489/2014 da CONTRAN	34
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de carga no Brasil	36
Tabela 2 – Quantidade de arroz recebido	44
Tabela 3 – Relação de entrada de carga	44
Tabela 4 – Descrição dos veículos	47
Tabela 5 – Volume de tráfego RSC-377	49
Tabela 6 – Eixos SisPav	52
Tabela 7 – Contagem dos veículos	54
Tabela 8 – Quantidades de cada configuração de eixo	56
Tabela 9 – Contagem de Eixos Simples de Roda Dupla	56
Tabela 10 – Contagem de Eixos Tandem Duplos	56
Tabela 11 – Contagem de Eixos Tandem Triplos com cavalo mecânico simples ..	56
Tabela 12 – Contagem de Eixos Tandem Triplos com cavalo mecânico duplo	57
Tabela 13 – Dimensionamento Padrão	57
Tabela 14 – Dimensionamento da estrutura	58
Tabela 15 – Carregamento dos eixos com sobrecarga	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Faixas de carregamento	55
--	----

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização do tema e do problema da pesquisa.....	13
1.2	Objetivo Geral	15
1.3	Objetivos Específicos	15
1.4	Justificativa.....	15
1.5	Estrutura do trabalho	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Caracterização do pavimento rodoviário	17
2.1.1	Pavimento Rígido	19
2.1.2	Pavimento Flexível.....	21
2.2	Materiais de base, sub-base e reforço de subleito	22
2.3	Patologias em pavimentos	24
2.3.1	Fendas.....	25
2.3.2	Afundamentos.....	27
2.3.3	Corrugações	29
2.3.4	Exsudação.....	29
2.3.5	Desgaste	30
2.3.6	Panela.....	31
2.3.7	Remendo	31
2.4	Danos causados pelo excesso de cargas no pavimento.....	32
2.5	Determinação das cargas nas rodovias	33
2.6	Limites legais	33
2.6.1	Pesos máximos	35
2.7	Transmissão de cargas ao pavimento	37
2.8	Pesagem em movimento	39
2.8.1	Tecnologias de pesagem existentes	40
2.8.2	Sistemas instalados em pavimentos	40
2.9	Métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos	42
3	METODOLOGIA	43
3.1	Levantamento dos dados.....	43
3.2	Classificação dos veículos.....	45
3.3	Dimensionamento do pavimento.....	48

3.4	Projeto no SisPav	49
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1	Contagem dos veículos	54
4.2	Dimensionamento padrão obtido pelo SisPav	57
4.3	Vida útil considerando o excesso de carga no SisPav	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	ANEXO A – Tabela de pesos dos caminhões	68

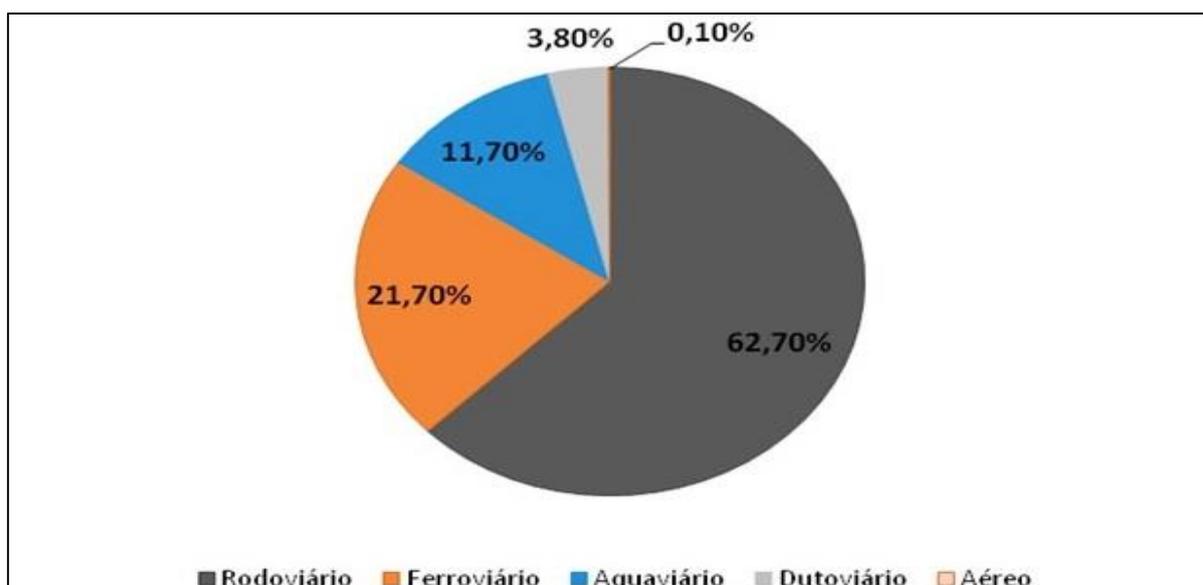
1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema e do problema da pesquisa

O município de Alegrete-RS está localizado na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, a 488 km de distância da capital Porto Alegre, 140 km da divisa com a Argentina e 120 km da divisa com o Uruguai. Além disso, o município é servido de várias estradas federais, estaduais e municipais onde escoam 350 mil toneladas de grãos produzidas no solo alegretense. Alegrete-RS tem a notável posição de ser o 3º maior produtor nacional de arroz, e possuir 50% do PIB ligado à cadeia produtiva do grão. Além de ter o maior rebanho bovino do estado com 660 mil (seiscentas e sessenta mil) cabeças e 220 mil (duzentas e vinte mil) cabeças de ovinos. Com tamanha produção agrícola e posição estratégica no Mercosul, a região do município de Alegrete oferece uma excelente amostra do transporte de cargas no modal rodoviário (ALEGRETE, 2015).

O transporte rodoviário é o principal meio para o deslocamento de cargas dentro do Brasil, sendo responsável por mais de 60% da matriz de transportes nacional, como mostra a Figura 1 (HIJJAR; LOBO, 2011).

Figura 1 – Matriz de transportes do Brasil



Fonte: Hijjar e Lobo (2011, não paginado).

Este transporte é feito por 1.720.607 Km de rodovias, sendo que, desse total, pouco mais de 200 mil delas são pavimentadas (CNT; SEST; SENAT, 2015).

Em comparação com as principais economias do mundo, o Brasil está em desvantagem. Os Estados Unidos, por exemplo, possuem cerca de 4,37 milhões de rodovias pavimentadas. A Índia, mesmo tendo um território equivalente a um terço do território brasileiro, possui uma malha pavimentada de 2,1 milhões de quilômetros - sete vezes a malha brasileira - (HIJJAR; LOBO, 2011).

Além de possuir uma malha rodoviária pavimentada baixa, ao levar-se em conta o tamanho do território nacional, percebe-se que o Brasil ainda possui 60% de suas rodovias classificadas entre regular, ruim ou péssima, como mostra uma pesquisa feita pela Confederação Nacional do Transporte em 2012 (CNT; SEST; SENAT, 2015,).

A condição de uma rodovia é determinada por fatores relativos a asfaltos de má qualidade, erros de projeto, excesso de peso sendo transportado e falta de conservação da rodovia. No que se refere ao peso transportado, a cada 1% de excesso de peso, em um único eixo, ocorre o aumento de 4,32% no desgaste do pavimento. Ou seja, se uma rodovia é projetada para durar 10 anos, com um aumento de 5% de sobrecarga, sua vida útil cai para 8,1 anos. Se o aumento for de 20% de sobrecarga, a vida útil do pavimento cai para 4,5 anos. Além do peso por eixo isolado, o peso bruto total também é fundamental para a preservação de pontes e viadutos. Veículos muito curtos e pesados concentram cargas, o que pode causar danos às obras de arte (HIJJAR; LOBO, 2011).

A correta aferição da carga transportada não é uma tarefa fácil. Os sensores de carga por eixo, os métodos de controle e a fiscalização de peso ainda estão em fase experimental. Além disto, o problema da medição se agrava quando as cargas são coletadas de diversos locais e, também, quando os produtos não podem ser pesados na origem, como toras de madeira retiradas diretamente da floresta. Existe ainda o caso particular dos granéis sólidos, em que ocorre a acomodação e o deslocamento da carga durante a viagem, mudando a distribuição da carga por eixo. Somado a isso, existe o fato de haver, até 2015, apenas 8, de um total de 73, postos de pesagem existentes funcionando no Brasil. Para complicar ainda mais a situação da medição de cargas em movimento no Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia declarou que as balanças dinâmicas não são apropriadas

para pesar as cargas líquidas. Levando os órgãos de fiscalização a apenas verificar a carga na nota fiscal (HIJJAR; LOBO, 2011).

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a carga que é transportada na região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul e verificar a sua influência na vida útil de um pavimento flexível.

1.3 Objetivos Específicos

- Fazer o levantamento da carga real que atua sobre o pavimento;
- Dimensionar um pavimento considerando os eixos legais de transporte;
- Analisar a diferença na vida útil nesse pavimento considerando a inclusão dos dados de carga transportados.

1.4 Justificativa

Devido à dificuldade de determinação, por parte dos órgãos fiscalizadores, da carga em movimento sobre o pavimento, é necessário estudar métodos que possibilitem essa determinação de uma maneira precisa e rápida.

Visto que o excesso de peso nas rodovias é um dos fatores que mais ataca a vida útil do pavimento e que no Brasil as rodovias possuem condições insatisfatórias de tráfego, este trabalho buscará junto às cooperativas transportadoras de grãos do município de Alegrete-RS os dados necessários para determinar esta carga.

Além disso, esta determinação poderá possibilitar o entendimento quanto às necessidades de mudança no entendimento dos projetos rodoviários, o que possibilitará estradas com maior vida útil, melhores condições transporte, acarretando menor custo, além de segurança e conforto aos usuários das rodovias.

1.5 Estrutura do trabalho

No Capítulo 1 (um) é apresentada a introdução do tema e do problema da pesquisa, com a devida contextualização, objetivos e justificativa, mostrando sua relevância.

No Capítulo 2 (dois), a revisão bibliográfica é apresentada, onde são abordados os assuntos relativos ao tema, como as tipologias dos pavimentos e seus componentes. Também são abordadas as patologias existentes nos pavimentos, assim como suas possíveis causas. O excesso de peso sobre o pavimento é um fator que causa diversas patologias, tendo o destaque central da revisão bibliográfica. São ainda abordadas as legislações que regulamentam o transporte de cargas na rodovia, além dos métodos de pesagem em movimento.

O capítulo 3 (três) contém a metodologia utilizada para o levantamento de dados necessários à pesquisa, e a descrição das etapas na utilização do *software* SisPav.

O Capítulo 4 (quatro) apresenta os resultados obtidos neste estudo por meio de tabelas, quadros e figuras.

No Capítulo 5 (cinco) encontram-se as considerações sobre os resultados obtidos na pesquisa, as dificuldades encontradas na coleta dos dados e as soluções apontadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização do pavimento rodoviário

O pavimento é basicamente entendido como uma estrutura formada por camadas que devem resistir ao tráfego e a ação do meio ambiente (VASSOLER; CHONG; SPECHT, 2011). Desde a superfície em contato direto com o pneu do veículo, até as camadas mais profundas. Sendo assim, dois dados são fundamentais no dimensionamento da estrutura viária: o tráfego e a capacidade de suporte do solo. A partir disto, as camadas do pavimento devem atender duas funções, que são: manter as condições superficiais do pavimento, obedecendo à segurança e o conforto; e manter as propriedades dos materiais utilizados durante o uso da estrutura, sendo que essas propriedades variam de acordo com o meio ambiente (MOMM et al., 2011).

Do ponto de vista estrutural e funcional, o pavimento é formado de várias camadas de espessuras finitas, construídas sobre uma superfície terraplanada. Sua estrutura é dimensionada do ponto de vista técnico e econômico para resistir à passagem dos veículos e as ações climáticas, além de oferecer boas condições de conforto, economia de combustível e segurança aos usuários (BERNUCCI et al., 2008).

A visão dos autores está de acordo com a NBR 7207 - Terminologia e classificação de pavimentação, na qual tem-se que:

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

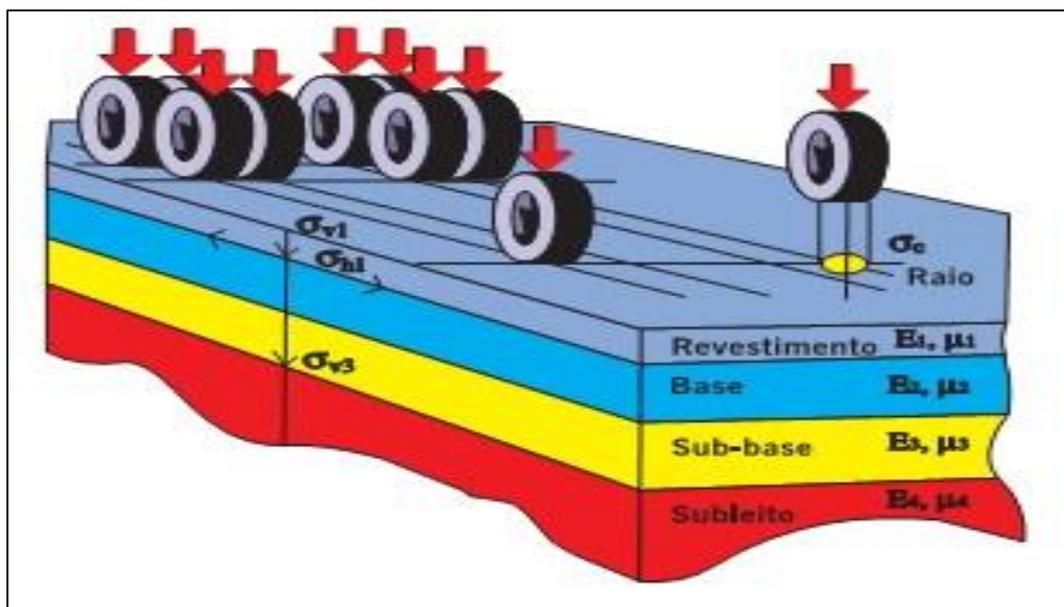
- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície do rolamento (ABNT, 1982, p. 2).

Vale destacar que existem fatores internos e externos a estrutura do pavimento que balizam o dimensionamento do mesmo. Os fatores internos podem ser entendidos como: as propriedades das camadas constituintes da estrutura, o

revestimento asfáltico e a camada granular de base e do subleito. Os fatores externos que afetam a estrutura são basicamente o meio ambiente e o carregamento dos veículos que irão trafegar sobre o pavimento. Todos estes fatores abrangem a vida útil do projeto e devem ser analisados de forma criteriosa (VASSOLER; CHONG; SPECHT, 2011).

Na Figura 2 as camadas do pavimento estão ilustradas juntamente com as tensões atuantes, que seriam a peso dos veículos que passam sobre a pista.

Figura 2 – Ilustração do sistema de camadas de um pavimento



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.10)

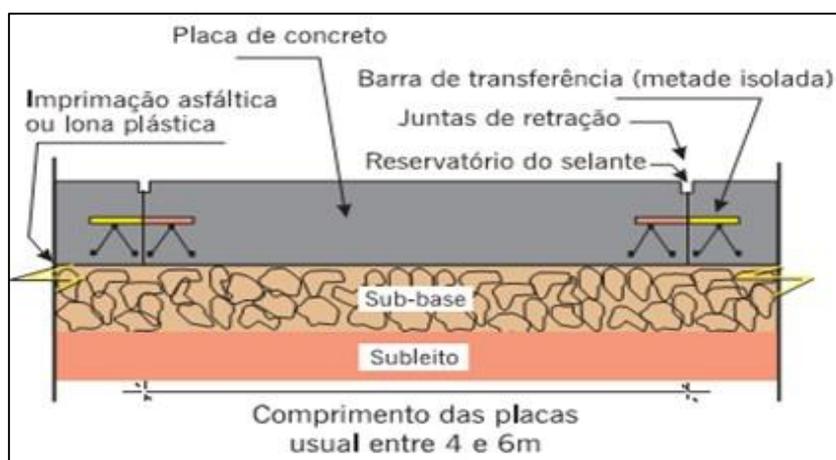
O revestimento pode ser feito de materiais asfálticos ou de placas de concreto que podem ser armadas ou não. As camadas de base, sub-base e reforço de subleito, geralmente, são de materiais granulares ou solos (BERNUCCI et al., 2008).

Basicamente existem duas tipologias de pavimentos: os pavimentos rígidos e os pavimentos flexíveis. Mas recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland para pavimentos rígidos e pavimentos asfálticos para pavimentos flexíveis (BERNUCCI et al., 2008). Além destas tipologias citadas acima, existe também o pavimento semirrígido, que consiste em uma base de concreto de cimento Portland sob um revestimento asfáltico (MEDINA, 1997).

2.1.1 Pavimento Rígido

O pavimento rígido, ou também chamado de pavimento de concreto de cimento Portland, é formado por uma placa de concreto que serve de revestimento ao pavimento. O dimensionamento da camada de revestimento é realizado em função da resistência à flexão do concreto. A transferência de esforços ocorre de maneira distribuída linearmente às camadas inferiores do pavimento. As placas de concreto usadas no revestimento podem ser armadas com barras de aço ou não, apoiadas sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado, assentado sobre o reforço ou o próprio subleito, como mostra a Figura 3 (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 3 – Pavimento de concreto-cimento (seção longitudinal)



Fonte: Bernucci et al (2008, p. 10)

As Figuras 4, 5 e 6 mostram as barras de transferência de esforços durante a execução de uma pista no porto da cidade de Paranaguá, no estado do Paraná.

Figura 4 – Colocação das barras de transferência



Fonte: Hallack (2012, p. 120)

As barras de transferência são colocadas nos locais especificados do projeto, sendo que a metade das barras que ficarão expostas após o lançamento do concreto deverá ser pintada ou engraxada, a fim de evitar a corrosão.

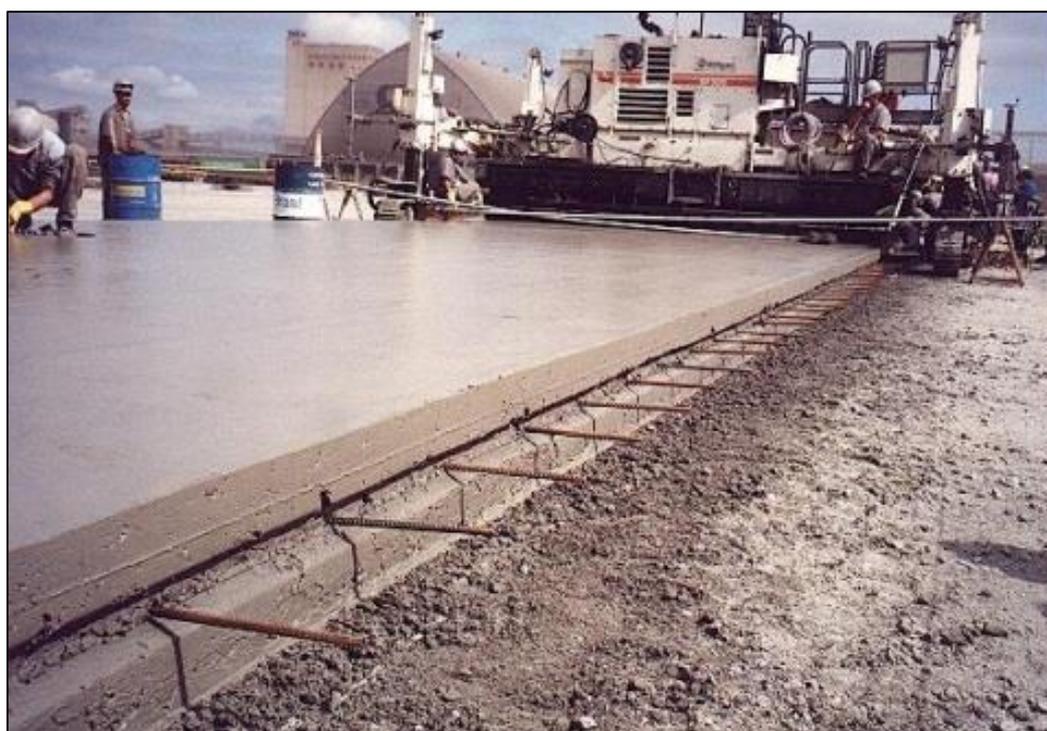
Figura 5 – Lançamento do concreto



Fonte: Hallack (2012, p. 124)

O concreto só será lançado após a liberação dos responsáveis do controle tecnológico e será espalhado por toda a largura da faixa.

Figura 6 – Adensamento



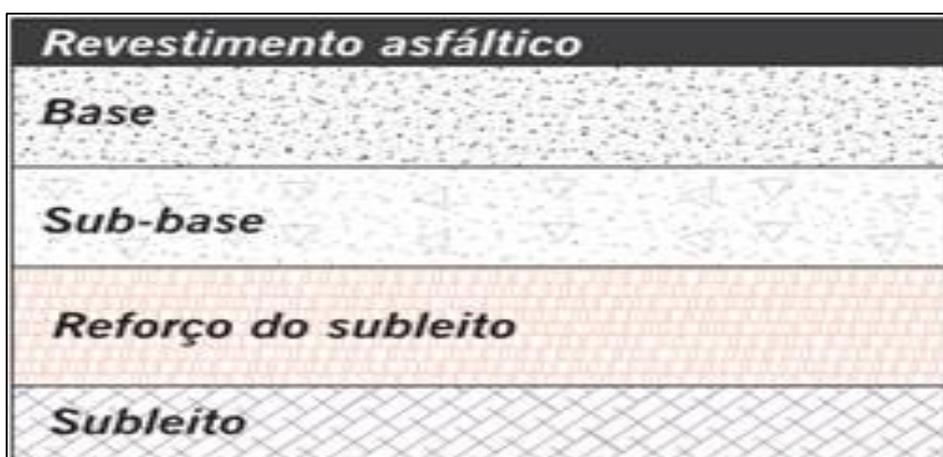
Fonte: Hallack (2012, p. 103)

O Adensamento será feito por vibro acabadoras de formas deslizantes que garantirá a espessura mínima de projeto em todos os pontos da faixa e uma camada contínua e homogênea de concreto.

2.1.2 Pavimento Flexível

Pavimentos asfálticos tem o revestimento formado por uma mistura de ligantes asfálticos e agregados. Além do revestimento, também possuem camada de base, sub-base e reforço de subleito em sua estrutura. A transferência de carga para as camadas inferiores do pavimento ocorre de maneira concentrada. (BERNUCCI et al., 2008). A Figura 7 exemplifica a estrutura do pavimento de asfalto.

Figura 7 – Estrutura de pavimento asfáltico



Fonte: Bernucci et al (2008, p. 338)

Os pavimentos asfálticos são compostos por camada a camada uma camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada na camada de base, que por sua vez é apoiada na camada de sub-base e esta na camada de reforço de subleito. As camadas são constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos. Dependendo do volume de tráfego, capacidade de suporte do solo, estrutura das camadas e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas (BERNUCCI et al., 2008).

2.2 Materiais de base, sub-base e reforço de subleito

Os materiais utilizados na base, sub-base e no reforço do subleito são classificados de acordo com seu comportamento em frente aos esforços em: material granular e solo, material estabilizado quimicamente ou cimentado, e material asfáltico (BERNUCCI et al., 2008).

Materiais granulares são aqueles que não possuem coesão e que não resistem à tração, resistindo apenas aos esforços de compressão. Já os solos são materiais coesivos que resistem, principalmente, a compressão e em pequena parcela, à tração, em função dada pela coesão das partículas finas. Os materiais cimentados, por sua vez, são materiais granulares ou solos que recebem a adição de cimento, cal ou outro aglomerante, para que suas resistências à compressão e à tração sejam elevadas. Por último, os materiais asfálticos são destinados à camada de base e a ligação entre os agregados ou as partículas do solo é dada pelo ligante asfáltico, aumentando, assim, a resistência à tração (BERNUCCI et al., 2008). As Figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam os materiais mais utilizados na confecção das camadas inferiores do pavimento.

Figura 8 – Brita graduada simples



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 353)

A brita graduada simples, visualizada na Figura 8, é um dos materiais mais utilizados no Brasil como base ou sub-base. Possui distribuição granulométrica bem-graduada com o diâmetro máximo dos grãos não excedendo 38 mm, sendo necessária uma usina de pedra britada para sua obtenção (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 9 – Macadame seco



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 353)

Em alguns casos, como vias urbanas, por exemplo, onde não se dispõem de uma usina de brita graduada, utiliza-se o macadame hidráulico, ou macadame seco, como pode ser visto na Figura 9. A diferença é a utilização ou não de água para o auxílio no preenchimento dos vazios do material. Devido à granulometria, o macadame é mais permeável que a brita graduada simples, além de possuir alta resistência e baixa deformabilidade (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 10 – Solo-brita



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 353)

Figura 11 – Solo-areia



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 353)

Na Figura 10 e na Figura 11 são mostradas as misturas solo-agregado que por sua vez possuem baixa permeabilidade, podendo até mesmo ser impermeável dependendo do agregado fino, além de boa compactação, uma vez que a mistura é afetada por variações de umidade. O teor de mistura fica em torno de 70% do peso em brita ou areia, e 30% do peso em solo, apresentando boa capacidade de suporte e baixa variação de resistência mesmo após imersão em água (BERNUCCI et al., 2008).

2.3 Patologias em pavimentos

O conhecimento das causas é uma das informações mais importantes para o engenheiro na tentativa de entender os problemas que afetam o pavimento e na escolha da solução para cada caso (BALBO, 2007).

Ao longo da vida útil do pavimento, a sua estrutura apresenta defeitos relacionados a diversos motivos. Esses defeitos estão ligados aos materiais utilizados e ao comportamento mecânico do pavimento, pois sua ruptura acontece quando o esforço solicitado é maior que a sua resistência característica. As causas dos defeitos nos pavimentos podem estar relacionadas à carga por eixo, tipo de eixo, tipo de rodagem, à pressão de enchimento dos pneus e ao tipo de suspensão, aliadas às variações de temperatura e umidade (LINK, 2009).

Os defeitos são classificados de acordo com a norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia. Sendo classificados em: fendas; afundamentos; corrugação e ondulações transversais; exsudação; desgaste ou desagregação; panela ou buraco; e remendos (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.1 Fendas

As fendas são classificadas como fissuras quando a abertura na superfície asfáltica for perceptível a olho nu à distância inferior a 1,5 metros. São classificadas como trincas quando a abertura for maior que a fissura. As trincas podem ocorrer de maneira isolada ou interligada. Trincas isoladas são divididas em: transversais e longitudinais, podendo serem longas ou curtas. Na Figura 12 são mostradas as trincas longitudinais curtas.

Figura 12 – Trincas longitudinais curtas



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 417)

As trincas longitudinais curtas provavelmente são causadas por falhas na execução, na temperatura de compactação ou na dosagem da mistura asfáltica (BERNUCCI et al., 2008).

Na Figura 13 são exibidas as trincas longitudinais longas.

Figura 13 – Trincas longitudinais longas



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 417)

Dentre as prováveis causas das trincas longitudinais longas estão: falhas executivas e recalques diferenciais (BERNUCCI et al., 2008).

Existem também as trincas de retração, exemplificadas na Figura 14.

Figura 14 – Trinca de retração



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 418)

A trinca de retração provavelmente é decorrente da retração térmica em ambientes sujeitos a baixas temperaturas (BERNUCCI et al., 2008).

A maior parte dos materiais, quando são solicitados em níveis de tensões inferiores ao da tensão de ruptura, modifica sua estrutura interna, causando microfissuras que podem se tornar fraturas, ocasionando o rompimento do material. Isso se caracteriza por ruptura por fadiga (BALBO, 2007), como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Trincamento por fadiga (trinca tipo couro de jacaré)



Fonte: Souza (2004, p. 34)

Cabe salientar que a fadiga é possível em misturas tanto cimentadas quanto asfálticas, na qual ela geralmente ocorre em pavimentos com um tráfego bastante intenso em termos de volume de veículos e quantidade de peso transportado (LINK, 2009).

2.3.2 Afundamentos

As deformações permanentes do revestimento asfáltico ou das outras camadas do pavimento podem derivar um defeito importante, que são os afundamentos, sendo classificados em: afundamento por consolidação ou afundamento plástico. O afundamento por consolidação existe quando depressões ocorrem por densificação diferencial, podendo ser localizado quando sua extensão não exceda 6 metros, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Afundamento por consolidação localizado



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 419)

Em geral desenvolvem-se trincas nas depressões e as principais causas são: deficiências construtivas, erros de compactação e problemas de drenagem (BERNUCCI et al., 2008).

O afundamento pode ser longitudinal nas trilhas de roda, caso exceda 6 metros, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Afundamento por consolidação em trilha de roda



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 419)

O afundamento é causado pela ruptura por cisalhamento ou densificação das camadas inferiores ao pavimento. Em alguns casos pode ser causado pelo descolamento da película de asfalto junto ao agregado (BERNUCCI et al., 2008).

O afundamento plástico ocorre quando as depressões são oriundas da fluência do revestimento asfáltico e pode ser localizado ou longitudinal nas trilhas de roda, como exemplifica a Figura 18 (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 18 – Afundamento plástico nas trilhas de roda



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 419)

Provavelmente o afundamento plástico das trilhas de roda é causado por excesso de ligante asfáltico ou falha na seleção do tipo de revestimento para a carga solicitante (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.3 Corrugações

As deformações transversais ao eixo da pista com depressões intercaladas de elevações e comprimento de onda entre as cristas na ordem de centímetros são chamadas de corrugações. Esse defeito é mostrado na Figura 19. Deformações transversais ao eixo da pista, mas com comprimento de onda na ordem de metros são chamadas de ondulações (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 19 – Corrugação



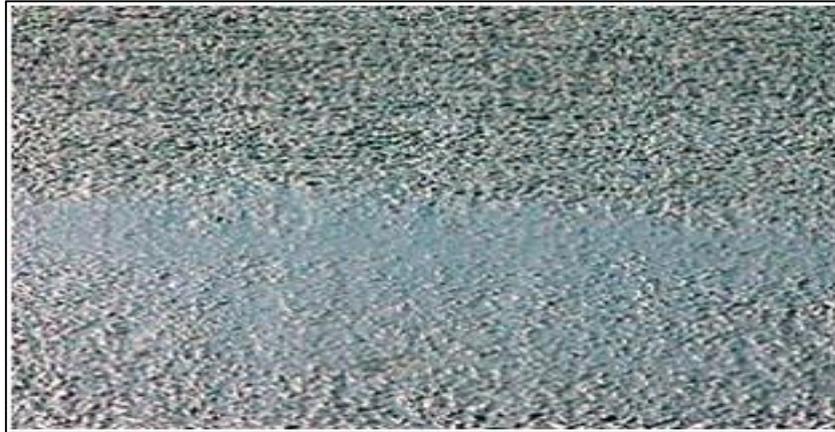
Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 420)

As corrugações geralmente ocorrem em área de aceleração ou desaceleração, em rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, em curvas, entre outros (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.4 Exsudação

Nota-se a exsudação pelo aparecimento de manchas escuras no asfalto, através do excesso de ligante na superfície, como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Exsudação



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 420)

Dentre as prováveis causas da exsudação, tem-se as falhas na dosagem provocando o excesso de ligante, e a segregação dos agregados na base com a ascensão do ligante a superfície (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.5 Desgaste

Também chamado de Desagregação, é decorrente do desprendimento dos agregados na superfície, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Desagregação



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 421)

A presença de água aprisionada e problemas na dosagem causando deficiência no teor de ligante são as causas mais prováveis para este tipo de problema (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.6 Panela

Também chamada de *Buraco*, a panela é uma cavidade no revestimento asfáltico que pode atingir camadas inferiores do pavimento. A Figura 22 mostra a panela atingindo a camada de base.

Figura 22 – Panela



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 422)

A ação do tráfego e das intempéries faz com que defeitos já existentes, como por exemplo, trincas interligadas, sejam a principal causa da ocorrência de buracos na pista de rolamento (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.7 Remendo

O remendo é um defeito que está ligado à conservação da superfície do pavimento e é caracterizado pelo preenchimento de um buraco ou qualquer outra abertura com massa asfáltica, assim como mostram as Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Remendo mal executado



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 422)

Figura 24 – Remendo bem executado



Fonte: Bernucci et al (2008, p. 422)

A Figura 23 mostra a falta de técnica para executar o reparo, o que causa danos no conforto ao rolamento. Se o remendo for bem executado, Figura 24, ainda assim é considerado como defeito, pois aponta um local de fragilidade do revestimento.

2.4 Danos causados pelo excesso de cargas no pavimento

Entre todas as patologias, é importante ressaltar que eixos com sobrecarga são a principal causa de trincas ocasionadas por fadiga pela repetição de cargas, escorregamentos ocasionados por esforços de frenagem e aceleração e trincas de reflexão que podem ser acelerados pela ação do tráfego. Além disso, também é o principal fator nas deformações permanentes de trilha de roda resultantes da ação do tráfego pesado (ALBANO, 2005).

Uma das premissas de um dimensionamento correto de um pavimento asfáltico é assegurar que não ocorrerão trincas excessivas por fadiga no revestimento, devido à repetição da passagem de eixos dos veículos durante a vida útil do projeto. Além disso, os efeitos do afundamento da trilha de roda (acúmulo excessivo de deformação permanente) devem ser considerados para garantir que as espessuras das camadas do pavimento sejam capazes de minimizar estes efeitos. (FRANCO, 2007).

O excesso de carga implica na diminuição da vida útil dos pavimentos, além de afetar os níveis de segurança e conforto com deformações permanentes (trilha de roda), irregularidades, trincas e panelas. Através disso ocorrem maiores custos com

manutenção da malha rodoviária e maiores custos para os transportadores, acarretando problemas logísticos que afetam o crescimento econômico. Para se ter uma ideia do efeito na economia deve-se levar em conta que por ano o governo federal gasta R\$ 674.000,00 por quilômetro. Considerando-se que o excesso de carga causa uma redução de 30% a 40% na vida útil dos pavimentos, em um projeto de 20 anos haveria mais intervenções que o previsto. Esse aumento de intervenções aumenta em 30% os custos previstos de recuperação. Sendo assim, o custo de recuperação acaba passando para cerca de R\$ 876.200,00 por quilômetro ao ano. O excesso de carga tem implicações diretas na estrutura do pavimento, além disso, a velocidade com que os veículos trafegam nas rodovias deve ser considerada na determinação do tempo de vida das estruturas e também a variação de temperatura dos materiais constituintes da rodovia (OTTO; MOMM; VAENTE, 2012).

2.5 Determinação das cargas nas rodovias

No ano de 1960, após mais de dois anos de estudos realizados na pista experimental da *American Association of State Highway Officials* (AASHO), hoje *American of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), foi definido um eixo padrão para o dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos, sendo a carga considerada para este eixo como sendo de 8,2 tf com pressão de inflação dos pneus no valor de 5,6 kg/cm². Sendo assim, a previsão de tráfego é estimada em função do número de vezes nos quais o eixo padrão passa pelo pavimento. A quantidade de passagens do eixo padrão é denominada “N” (FONTENELE, 2011).

Um dos objetivos no dimensionamento dos pavimentos é obter uma boa relação custo/benefício, para isto existe a necessidade de avaliar quais as solicitações de carga a que o pavimento é exposto (MEDINA, 1997).

2.6 Limites legais

O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), por meio da Resolução nº 489 de 2014, alterou a redação do Art. 5º da Resolução CONTRAN nº 258 de 2007, e estabeleceu que serão admitidas as seguintes tolerâncias em balanças rodoviárias:

- a) 5% (cinco por cento) sobre os limites de pesos regulamentares para o peso bruto total (PBT), peso bruto total combinado (PBTC) e Capacidade Máxima de Tração (CMT);
- b) 7,5% (sete virgula cinco por cento) sobre os limites de pesos regulamentares por eixo para aqueles veículos que excederam os limites estabelecidos no inciso I;
- c) 10% (dez por cento) sobre os limites de pesos regulamentares por eixo para aqueles veículos que não excederam os limites estabelecidos no inciso I (CONTRAN, 2014, p.1).

A Resolução nº 489 de 2014 também alterou o Art. 9º da Resolução nº258 de 2007, que passou a vigorar com a seguinte redação:

Art. 9º Independente da natureza da carga, o veículo poderá prosseguir viagem sem remanejamento ou transbordo, desde que os excessos aferidos em cada eixo ou conjunto de eixos sejam simultaneamente inferiores a 12,5% (doze e meio por cento) do menor valor entre os pesos e capacidades máximos estabelecidos pelo CONTRAN e os pesos e capacidades indicados pelo fabricante ou importador (CONTRAN, 2014, p.1).

Klamt (2014) mostra de maneira resumida e explicativa a resolução nº 489 de 2014, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Limites da resolução nº 489/2014 da CONTRAN

PBT, PBTC ou CMT	Tolerância por eixo	
Abaixo de 5,0% não será autuado	Tolerância de 10%	Abaixo de 10% não será autuado
		Acima de 10% será autuado
Acima de 5,0% será autuado	Tolerância de 7,5%	Abaixo de 7,5% não será autuado
		Acima de 7,5% será autuado pela segunda vez

Fonte: Klamt (2014, p. 56)

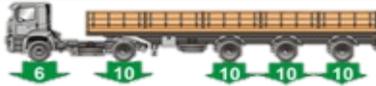
Pelo Quadro 1 percebe-se que o mesmo veículo pode ser multado duas vezes, caso exceda o limite de 5,0% no peso bruto total e também exceda o limite de 7,5% de peso por eixo.

2.6.1 Pesos máximos

De acordo com a configurações de eixo existentes tem-se: eixo simples de rodas simples (ESRS), eixo simples de rodas duplas (ESRD), eixo tandem duplo (ETD), eixo tandem triplo (ETT). É importante ressaltar que cada configuração de eixo é combinada com a unidade tratora, ou cavalo mecânico, que pode ser de eixo simples com rodas duplas ou com eixos duplos de rodas duplas, chamado de *cavalo mecânico trucado*. *Trucado* é uma alusão ao caminhão de eixo tandem duplo, conhecido no Brasil como caminhão *truck* KLAMT (2014).

Com base nas resoluções vigente no Brasil, a Tabela 1 mostra os limites de carga para cada configuração de eixo existente na frota de veículos.

Tabela 1 – Limites de carga no Brasil

Config. de Eixos	Representação Gráfica	PBT (toneladas)	Limite de 5%	Limite de 10% por eixo	Limite de 7,5% por eixo
ESRS		12	12,6	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
ESRD		16	16,8	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				10,00 → 11,00	10,00 → 10,75
ESRD + cavalo mecânico		26	27,3	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				10,00 → 11,00	10,00 → 10,75
ETD		23	24,15	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				17,00 → 18,70	17,00 → 18,275
ETT ¹		41,5	43,575	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				10,00 → 11,00	10,00 → 10,75
				25,50 → 28,05	25,50 → 27,412
ETT ²		46	48,3	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				10,00 → 11,00	10,00 → 10,75
ETT ¹ + cavalo mecânico trucado		48,5	50,925	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				17,00 → 18,70	17,00 → 18,275
				25,50 → 28,05	25,50 → 27,412
ETT ² + cavalo mecânico trucado		53	55,65	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				17,00 → 18,70	17,00 → 18,275
				10,00 → 11,00	10,00 → 10,75
ETT ³ + cavalo mecânico trucado		50	52,5	6,00 → 6,60	6,00 → 6,45
				17,00 → 18,70	17,00 → 18,275
				10,00 → 11,00	10,00 → 10,75

1 – Eixo tandem triplo com distância entre o centro das rodas maior que 1,20 metro e menor que 2,40 metros;

2 – Eixo tandem triplo com distância entre o centro das rodas maior que 2,40 metros;

3 – Eixo tandem triplo com eixo distanciado.

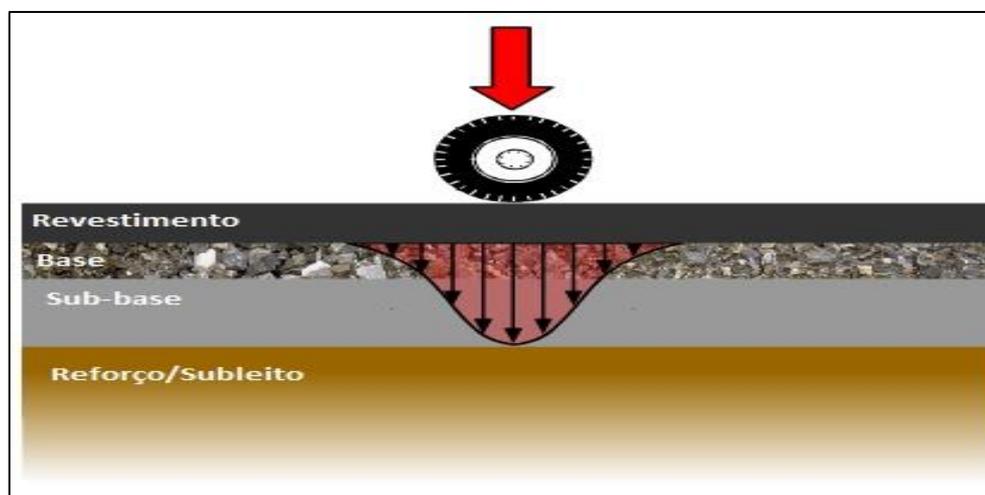
Fonte: CONTRAN (2007, 2014)

Caso um veículo com capacidade de 23,00 (vinte e três) toneladas, apresentar um peso de 24,15 (vinte e quarto vírgula quinze) toneladas na pesagem, seu peso está dentro dos 5% de tolerância, logo, seu eixo dianteiro, que pode levar até 6,00 (seis) toneladas não será multado se pesar até 6,60 (seis vírgula seis) toneladas, 10% a mais. Para o eixo traseiro, que pode levar 17,00 (dezesete) toneladas, o limite fica em 18,70 (dezoito vírgula sete) toneladas. Se o mesmo veículo estiver com 25,00 (vinte e cinco) toneladas, estará acima da tolerância de 5% e o limite por eixo será de 7,5%, ou seja, 6,45 (seis vírgula quarenta e cinco) toneladas no eixo dianteiro e 18,27 (dezoito vírgula vinte e sete) toneladas no eixo traseiro (KLAMT, 2014).

2.7 Transmissão de cargas ao pavimento

A transmissão do carregamento para o pavimento flexível, segundo Fontenele (2011), acontece em três estágios. A Figura 25 exibe o primeiro estágio.

Figura 25 – Estágio 1 (um) de transmissão de carga

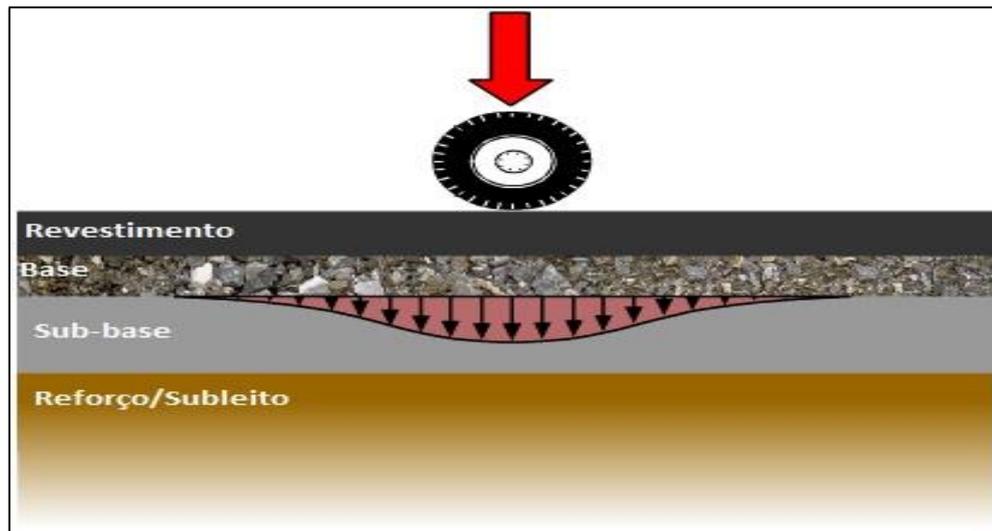


Fonte: WAPA (2010, não paginado)

No estágio um, a área onde a carga é aplicada é menor e tende a gerar esforço de tração na camada inferior do revestimento, causando trincas que variam conforme a sollicitação.

A Figura 26 mostra o segundo estágio de transmissão de carga.

Figura 26 – Estágio 2 (dois) de transmissão de carga

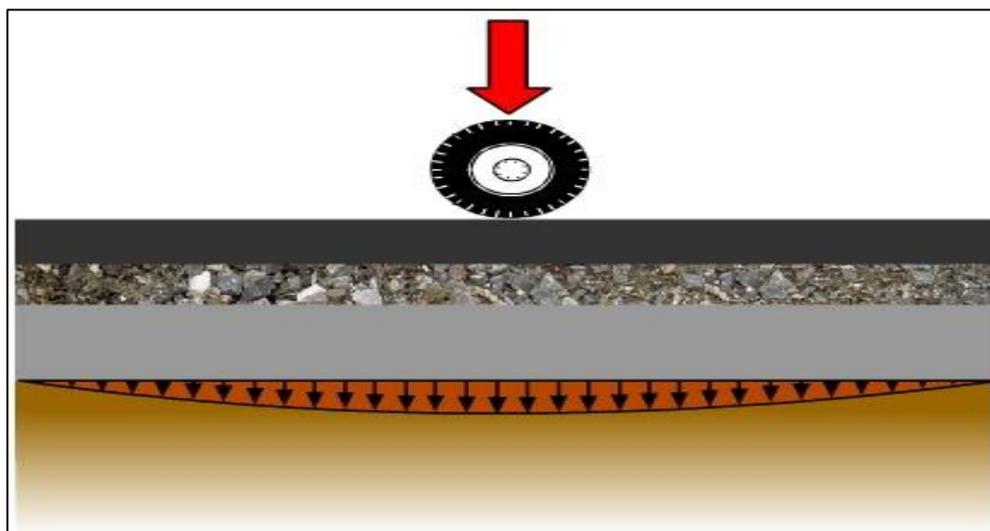


Fonte: WAPA (2010, não paginado)

No estágio dois, o carregamento é transferido para a base, que distribui a carga em uma área maior.

A Figura 27 mostra o terceiro e último estágio de transmissão, na qual a base transfere o carregamento para o subleito, onde ele dissipado.

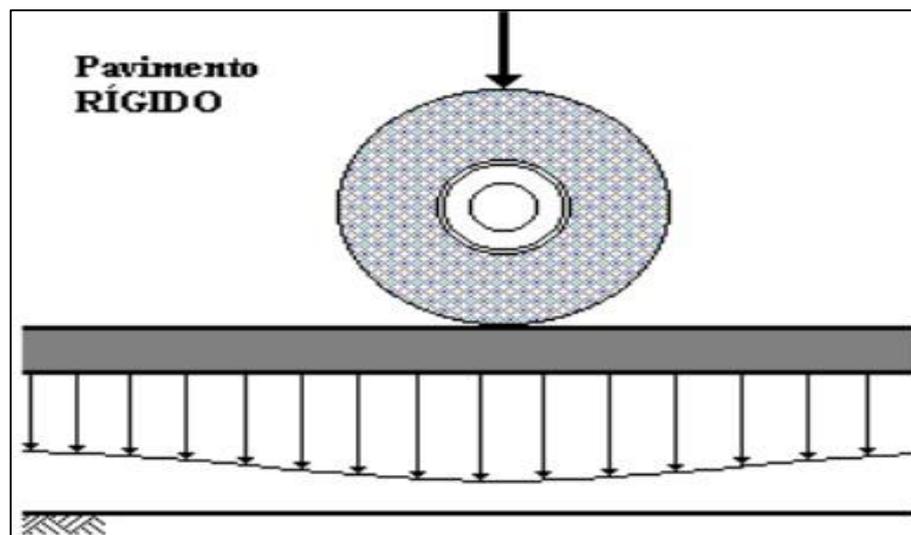
Figura 27 – Estágio 3 (três) de transmissão de carga



Fonte: WAPA (2010, não paginado)

A Figura 28 mostra a transmissão de carga em um pavimento rígido, que ocorre de maneira diferente do pavimento flexível.

Figura 28 – Transmissão de cargas no pavimento rígido



Fonte: Balbo (2007, não paginado)

No Pavimento rígido a transmissão de cargas se dá por meio da camada de rolamento, que funciona como uma estrutura, redistribuindo as cargas e diminuindo às tensões à fundação (BALBO, 2007).

2.8 Pesagem em movimento

A pesagem em movimento consiste em avaliar o peso transportado por um veículo de carga, por meio de medições com os veículos em movimento (OTTO; MOMM; VAENTE, 2012).

Existem dois tipos de pesagem de veículos nas rodovias: a Pesagem Estática e a Pesagem Dinâmica. (FONTENELE, 2011)

Na pesagem estática o peso é aferido em duas etapas, tanto para o peso bruto total combinado quanto para o peso por eixo. A primeira etapa consiste na passagem do veículo com uma velocidade entre 10 km/h a 100 km/h. Caso existe excesso de peso, o veículo passa por uma nova pesagem realizada de forma estática mais precisa (ALBANO, 2005).

A pesagem dinâmica ou *Weight In Motion* (WIM) tem crescido nos últimos anos com a finalidade de aumentar o desempenho e a precisão na pesagem, e também reduzir os custos de operação. Os equipamentos podem ser utilizados separadamente e em conjunto a um posto de pesagem estático. Ultimamente existe

uma maior utilização de pesagens dinâmicas por parte da fiscalização devido a vantagens que o sistema oferece, como permitir a pesagem de todos os veículos de transporte de carga, sem gerar filas de espera para os veículos que trafegam sem excesso de carga. Permite a aferição do Peso Bruto Total (PBT) e da carga por eixo com o veículo em movimento e, conhecendo o comprimento total e a separação entre os eixos, classifica-se o veículo e definem-se os limites de carga. Por fim, opera 24 horas por dia, sem interrupções, fornecendo ao órgão responsável pela fiscalização uma base de dados estatísticos diários e mensais de todos os veículos que passam pelo posto, como peso transportado, velocidade e classificação do tipo de veículo (ALBANO, 2005).

2.8.1 Tecnologias de pesagem existentes

Nos Estados Unidos, sensores utilizados medem forças transitórias aplicadas por pneus à medida que os veículos circulam sobre a rodovia. Os sensores que medem a carga geralmente são de placas finas colocadas diretamente sobre a superfície do pavimento, ou colocados dentro da estrutura do pavimento, desde que especificado em projeto, ou ainda sob as estruturas de pontes e viadutos. Para que a escolha de uma tecnologia seja adequada para uma pesagem dinâmica, alguns fatores devem ser considerados, como o custo dos sensores e da instalação, bem como o local onde a tecnologia possa ser instalada com mais êxito, além da sensibilidade do sensor à temperatura e velocidade do vento. Também devem ser considerados o volume e velocidade do tráfego e a durabilidade do sensor (ALBANO, 2005).

2.8.2 Sistemas instalados em pavimentos

São compostos por linhas de sensores instalados na transversal em relação ao sentido de tráfego e espaçados entre si igualmente. Neste sistema destacam-se tecnologias como o piezelétrico de quartzo, piezelétrico cerâmico e o Piezelétrico de polímero (OTTO ; MOMM; VALENTE, 2012).

As Figuras 29 à 31 ilustram um sistema WIN instalado sobre o pavimento.

Figura 29– Execução sistema WIN



Fonte: Otto, Momm e Valente. (2012, p. 10)

Figura 30 – Selagem das aberturas



Fonte: Otto, Momm e Valente. (2012, p. 10)

Figura 31 – Instalação finalizada



Fonte: Otto, Momm e Valente. (2012, p. 11)

A calibração interpreta cada alinhamento de sensores instalados no pavimento, como sendo uma balança independente. É realizada com veículos

representativos da frota, utilizando diferentes velocidades e diferentes carregamentos (OTTO; MOMM; VAIENTE, 2012):

2.9 Métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos

Os danos que afetam a estrutura de um pavimento são, principalmente, oriundos de cargas elevadas e de um número elevado de repetições de passagem de veículos. Acontece que, em muitos dos dimensionamentos dos pavimentos existentes, não é considerada a variável “fadiga”, pois deve-se ter em vista que os métodos tradicionais de dimensionamento foram desenvolvidos a partir da observação das deformações no subleito (FRANCO, 2007).

Por muitos anos, os engenheiros vêm discutindo a condição empírica dos métodos de dimensionamento de pavimentos. Estes métodos são baseados em observações e na experiência de uso em certos tipos de pavimentos, materiais e em condições de clima muito específico. O que nem sempre é o mesmo, em relação ao projeto a ser desenvolvido. A grande limitação dos métodos empíricos que não podem ser utilizados de forma confiável, em condições diferentes das quais foram desenvolvidos (FRANCO, 2007).

A busca por projetos mais eficientes de pavimentação, passa invariavelmente por uma modelagem científica, diferente dos atuais métodos baseados em uma análise empírica (FRANCO, 2007). Avanços tecnológicos vêm acontecendo em todo o mundo nos últimos anos no estudo de métodos de dimensionamento de pavimento. No Brasil destacam-se os trabalhos de Motta (1991), Medina (1997), Medina e Motta (2005) que contém informações sobre a mecânica dos pavimentos e estimulam a inovação de um método efetivo e prático de dimensionamento de pavimentos asfálticos.

No parecer de Motta (1991) os tradicionais métodos de dimensionamento são basicamente empíricos. Ainda não existia no Brasil um método de dimensionamento que padronizasse os projetos e podiam ser usados pelos órgãos regulamentadores.

3 METODOLOGIA

Devido à carência de informações para o projeto de pavimentação na região de Alegrete, tem-se a necessidade de buscar dados reais dos carregamentos atuantes no pavimento. Desta forma, para aferir a carga que está sendo transportada nas estradas pavimentadas foi desenvolvida uma metodologia que compreende as seguintes etapas:

1. levantamento dos dados relativos ao transporte junto às cooperativas que fazem o beneficiamento do arroz;
2. análise da frota utilizada para o transporte;
3. dimensionamento de um pavimento com o auxílio de uma ferramenta computacional, o SISPAV;
4. comparativo entre o pavimento utilizado atualmente e o pavimento ideal, que atenda a carga real.

3.1 Levantamento dos dados

Como não se dispõe de balanças em todas as rodovias, para obter-se todos os carregamentos reais, dispõe-se neste trabalho uma metodologia que buscou coletar dados por meio de uma pesquisa quantitativa. Os dados relativos ao volume transportado e tipologia de veículos utilizados foram obtidos junto às cooperativas de grãos na macrorregião do município de Alegrete, visto que a atividade agrícola é à base da economia da região e, por isso, o transporte de arroz deve ser o que possui a maior parcela no transporte de cargas.

A pesquisa consistiu inicialmente em levantar quais cooperativas fazem o recebimento e a secagem do arroz. Ao todo foram encontradas 04 (quatro) cooperativas, sendo que apenas 01 (uma) concordou colaborar com a pesquisa. A cooperativa cedeu os dados de recebimento de arroz, num período entre 11 de março de 2015 até 19 de maio de 2015. O nome da cooperativa foi omitido em comum acordo para que os dados fossem cedidos. A Tabela 2 mostra a quantidade total recebida neste período.

Tabela 2 – Quantidade de arroz recebido

Período	Quantidade (Toneladas)
11/03/2015 – 19/05/2015	15.172

Fonte: Cooperativa (2015, não paginado)

Pela Tabela 2 percebe-se que mais de 15 mil toneladas de arroz foram recebidas, o que mostra o grande volume de arroz transportado nas estradas da região em um curto espaço de tempo.

Os dados cedidos pela cooperativa estão exibidos de forma resumida na Tabela 3 que contém a data do recebimento, placa do veículo e peso descarregado.

Tabela 3 – Relação de entrada de carga

PLACA ¹	DATA	PESO
ABC 0123	13/04/2015	19.370 kg
ABC 0123	01/04/2015	14.690 kg
ABC 0123	16/04/2015	8.660 kg
ABC 0123	17/04/2015	8.670 kg
ABC 0123	20/04/2015	9.920 kg
ABC 0123	22/04/2015	2.320 kg
ABC 0123	14/04/2015	12.250 kg
ABC 0123	22/04/2015	1.770 kg
ABC 0123	08/04/2015	16.650 kg
ABC 0123	20/03/2015	19.190 kg

1 – Placa meramente ilustrativa.

Fonte: Cooperativa (2015, não paginado)

A placa foi omitida por tratar-se de informação confidencial e foi utilizada para classificar o veículo que realizou o transporte da carga. Ao todo foram recebidas 839 (oitocentas e trinta e nove) entradas de veículos, das quais 87 (oitenta e sete) foram descartadas por erros que impossibilitaram a identificação do mesmo. O peso informado se refere apenas à carga de arroz em granel recebida, não considerando o peso próprio (Tara) do caminhão.

3.2 Classificação dos veículos

Pela placa informada foi realizada a pesquisa através do Sistema Nacional de Informações de Segurança Pública (SINESP), disponível no endereço: www.sinesp.gov.br/sinesp-cidadao. A Figura 32 mostra quais os dados a serem preenchidos para realização da consulta.

Figura 32 – Dados a serem informados

A screenshot of a web browser showing the 'Sinesp Cidadão' interface. The browser's address bar displays 'https://www.sinesp.gov.br/sinesp-cidadao'. The page title is 'Sinesp Cidadão SINESP CIDADÃO'. The main content area features a form titled 'Informe a Placa do Veículo' with two input fields separated by a hyphen. Below this is a large, semi-transparent watermark reading 'copy' with a copyright symbol. Underneath the watermark is another input field labeled 'Informe o texto' and an orange button labeled 'Checar Situação'.

Fonte: SINESP (2015, não paginado)

Após informar a placa do veículo, e preencher o campo de segurança requisitado, foi gerado o relatório contendo a situação legal do veículo e suas características. A Figura 33 exibe esse relatório.

Figura 33 – Relatório do veículo

A screenshot of a vehicle status report. At the top, there is a green rounded rectangle containing a white checkmark icon on the left and the text 'SITUAÇÃO LEGAL' in bold, with 'obrigado por usar' in smaller text below it. Below this, the vehicle details are listed: 'M.BENZ/L 1516 - 1977/1977 - VERMELHA', 'ALEGRETE/RS', and 'Chassi *****48179'. At the bottom, it states 'Consulta realizada em 09/11/2015 16:42:11'.

Fonte: SINESP (2015, não paginado)

Os dados obtidos na consulta, como marca, modelo e ano de fabricação, foram utilizados para identificar-se a configuração de eixo que foi utilizada. O seu peso próprio (Tara) foi encontrado mediante pesquisa em catálogos de fabricantes através da *Internet*. Os catálogos pesquisados constam no Anexo A, ao final deste trabalho.

Os eixos encontrados foram classificados em quatro tipos:

1. Eixo Simples de Rodas Simples – ESRS;
2. Eixo simples de Rodas Duplas – ESRD;
3. Eixo Tandem Duplo – ETD;
4. Eixo Tandem Triplo – ETT.

Após a aferição de qual a configuração de eixo e da *Tara*, utilizou-se a Equação 1 para obter-se o Peso Bruto Real (PBT Real) que trafega na rodovia.

$$\text{PBT Real} = \text{Peso} + \text{Tara} \quad \dots(1)$$

O PBT Real foi comparado com o Peso Bruto Legal (PBT Legal) que a Resolução nº489 do Conselho Nacional de Transito (CONTRAN) estabelece. A Tabela 4 exhibe de forma resumida a descrição dos veículos, seus respectivos pesos próprios e o PBT Legal e o PBT Real já calculado.

Tabela 4 – Descrição dos veículos

PLACA ¹	CARGA	DESCRIÇÃO	EIXO	TARA	PBT Real	PBT Legal
ABC 0123	31.970 kg	VOLVO/NL10 340 - 1992/1992 - BRANCA	ETT	9.300 kg	41.270 kg	41.500 kg
ABC 0123	33.420 kg	M.BENZ/LS 1933 - 1987/1987 - BRANCA	ETT	9.000 kg	42.420 kg	41.500 kg
ABC 0123	43.340 kg	SCANIA/R124 GA6X4NZ 420 - 2000/2001 - BRANCA	ETT	9.600 kg	52.940 kg	48.500 kg
ABC 0123	20.470 kg	M.BENZ/L 1620 - 2008/2008 - BRANCA	ETD	8.000 kg	28.470 kg	23.000 kg
ABC 0123	16.190 kg	M.BENZ/LPK 321 - 1966/1966 - AZUL	ETD	8.000 kg	24.190 kg	23.000 kg
ABC 0123	21.910 kg	SCANIA/T112 HW 4X2 INT - 1991/1991 - VERMELHA	ETT	9.600 kg	31.510 kg	41.500 kg
ABC 0123	16.650 kg	M.BENZ/L 1113 - 1979/1979 - VERMELHA	ETD	7.500 kg	24.150 kg	23.000 kg
ABC 0123	18.470 kg	M.BENZ/LS 1519 - 1979/1979 - VERMELHA	ETD	8.000 kg	26.470 kg	23.000 kg
ABC 0123	33.640 kg	SCANIA/T113 H 4X2 360 - 1994/1994 - BRANCA	ETT	9.600 kg	43.240 kg	41.500 kg
ABC 0123	22.840 kg	FORD/CARGO 2218T - 1989/1989 - AZUL	ETD	8.000 kg	30.840 kg	23.000 kg
ABC 0123	11.200 kg	M.BENZ/L 1313 - 1982/1983 - AZUL	ETD	7.500 kg	18.700 kg	23.000 kg
ABC 0123	17.460 kg	M.BENZ/LK 1313 - 1973/1973 - LARANJA	ETD	7.500 kg	24.960 kg	23.000 kg
ABC 0123	5.530 kg	M.BENZ/L 1113 - 1975/0 - INDEFINIDA	ETD	7.500 kg	13.030 kg	23.000 kg
ABC 0123	18.370 kg	M.BENZ/L 2013 - 1973/1973 - VERMELHA	ETD	7.500 kg	25.870 kg	23.000 kg
ABC 0123	16.020 kg	M.BENZ/LK 1513 - 1978/1978 - VERMELHA	ETD	7.500 kg	23.520 kg	23.000 kg
ABC 0123	16.970 kg	M.BENZ/L 1519 - 1978/1978 - BRANCA	ETD	8.000 kg	24.970 kg	23.000 kg
ABC 0123	14.240 kg	M.BENZ/L 1113 - 1977/1977 - VERMELHA	ETD	7.500 kg	21.740 kg	23.000 kg

1 – Placa meramente ilustrativa

Fonte: Elaboração própria

Através do PBT Real foi verificado se o PBT Legal foi superado. Nos casos em que o limite legal não foi respeitado, buscou-se verificar se este excesso estava superior à 5%, conforme a Resolução nº 489 do CONTRAN. Realizou-se a contagem dos veículos com excesso de carga e a partir disto estipulou-se que o excesso de carga seria o mesmo em relação aos eixos. Por exemplo, caso um caminhão apresentasse 8% de excesso de carga, seus eixos seriam considerados cada um com 8% de excesso, respectivamente.

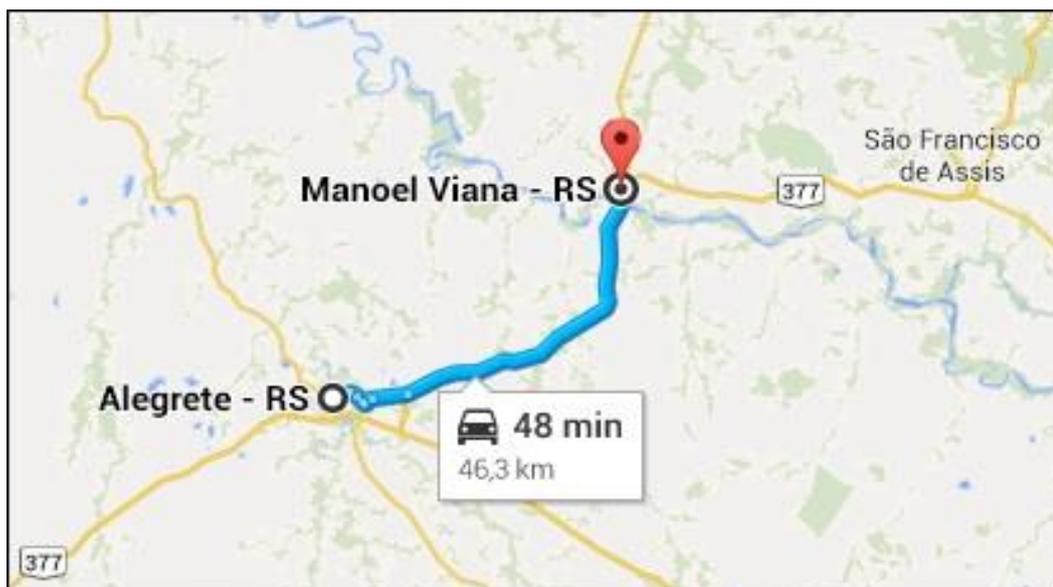
A contagem dos veículos foi realizada com base na carga legal. A partir desse valor foram analisados todos os carregamentos e classificados de acordo com a faixa de excesso de carga que representam, variando a cada 5% de acréscimo.

Após a discriminação das faixas de excesso de carga para cada tipo de eixo, utilizou-se o software SisPav para realização do dimensionamento.

3.3 Dimensionamento do pavimento

A rodovia utilizada foi a RSC-377, localizada entre os municípios de Alegrete e Manoel Viana, num trecho de 46,3 Km. A Figura 34 mostra a localização da rodovia.

Figura 34 – RSC – 377 Trecho Alegrete – Manoel Viana

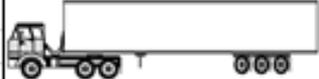


Fonte: Morais (2015, p. 44)

O trecho é considerado de baixa intensidade de tráfego e apresentou uma frota comercial de 397.120 (trezentos e noventa e sete mil e cento e vinte) veículos no ano de 2013 (MORAIS, 2015).

O Volume Diário Médio (VDM) e o Volume Anual de tráfego estão exibidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Volume de tráfego RSC-377

Tipos de Veículos	Categoria	VDMA corrigido	Volume Anual
	2U	106	38690
	3U	62	22630
	2S3	78	28470
	2S3	32	11680,00

Fonte: Morais (2015, p. 44)

Os veículos classificados como 2U correspondem aos veículos de Eixo Simples de Roda Dupla. Os classificados como 3U são os de Eixo Tandem Duplo, 2S3 são Eixos Tandem Triplo com Cavalo Mecânico de Roda Simples ou com Cavalo Mecânico de Rodas Duplas, respectivamente.

3.4 Projeto no SisPav

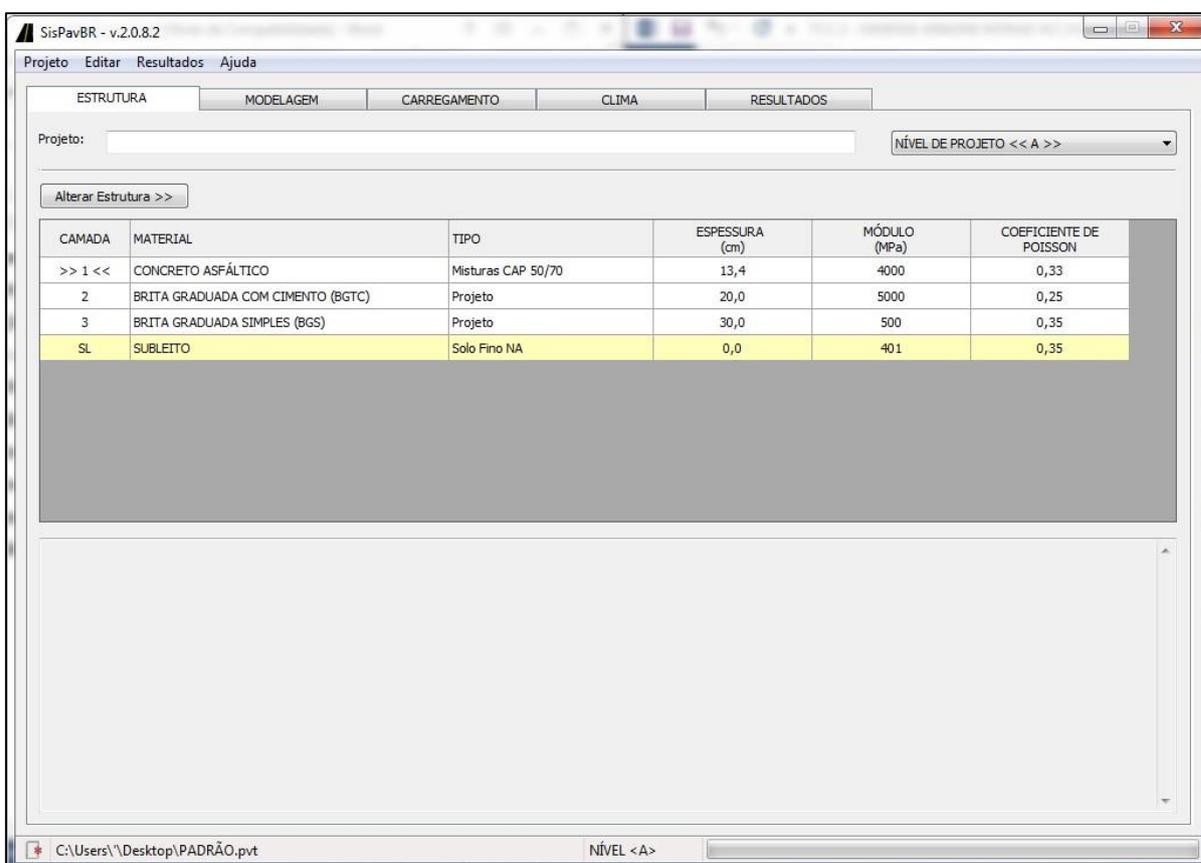
No dimensionamento foi utilizado o programa de computador SisPav, desenvolvido por Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, na COPPE/UFRJ no ano de 2007. O programa realiza dois tipos de análises. A primeira é o dimensionamento da estrutura por meio de dados de entrada, em que um algoritmo encontra a espessura da camada que atenda aos requisitos de projeto. A segunda

análise realiza uma verificação dos dados e características definidos pelo projetista e informa a vida útil do projeto (FRANCO, 2007).

O dimensionamento consistiu em projetar-se uma rodovia com vida útil estimada em 10 anos, considerando o volume de tráfego anual encontrado em Moraes (2014) com apenas os limites legais de carga, e depois considerar os excessos de carga proporcionais e constatar qual a redução na vida útil.

A utilização do software se dá em cinco abas de trabalho, nos parâmetros de entrada tem-se quatro delas e uma nos dados de saída. Os dados de entrada são adicionados junto às abas *Estrutura*, *Modelagem*, *Carregamento* e *Clima*, enquanto a saída dos dados dá-se na aba *Resultados*. A estrutura do pavimento deu-se em 4 camadas, sendo elas: subleito, sub-base, base e revestimento. A Figura 35 mostra a aba *Estrutura* e sua organização no formato de tabela onde os dados como tipo de material, espessura da camada, módulo de resiliência e coeficiente de Poisson são definidos pelo projetista (FRANCO, 2007).

Figura 35 – Aba Estrutura



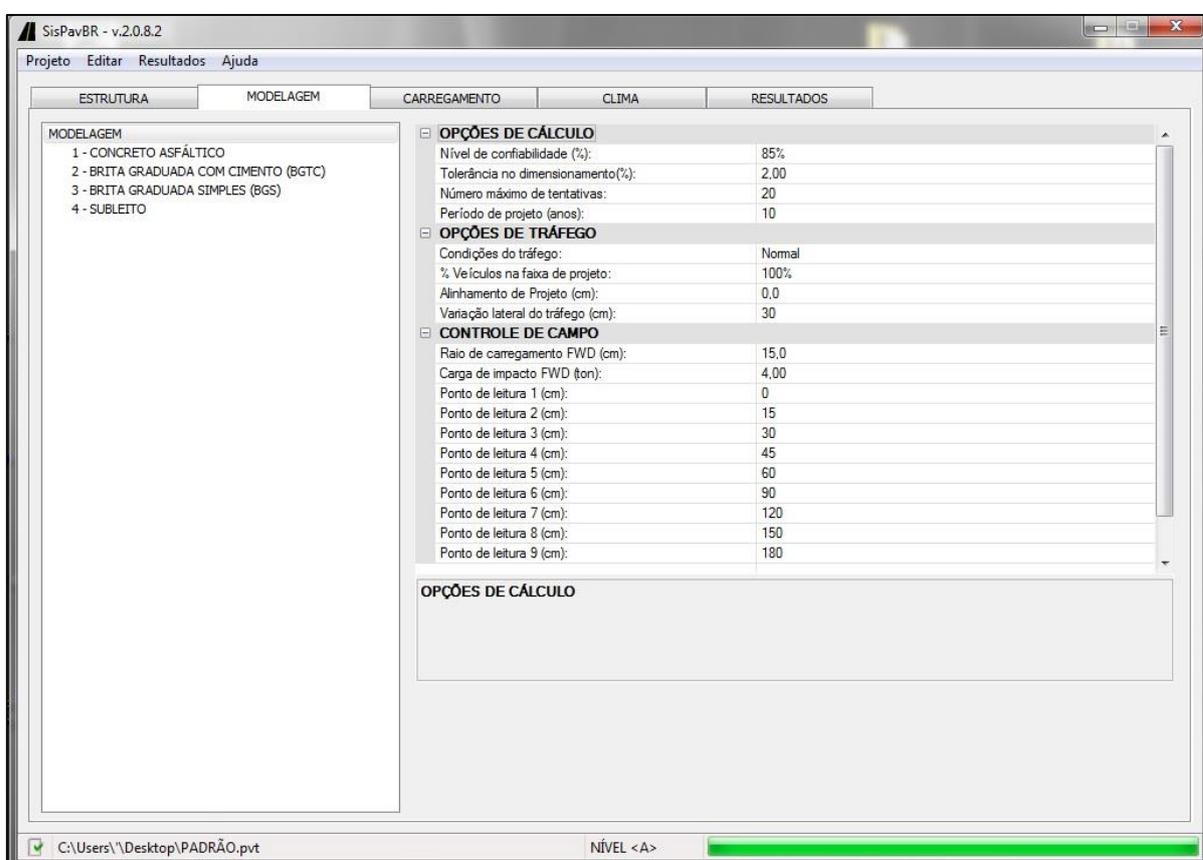
CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Misturas CAP 50/70	13,4	4000	0,33
2	BRITA GRADUADA COM CIMENTO (BGTC)	Projeto	20,0	5000	0,25
3	BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS)	Projeto	30,0	500	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Fino NA	0,0	401	0,35

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

O subleito tem dimensão igual a zero na sua espessura pois não há como saber qual sua real dimensão, logo, é considerado como se tivesse espessura infinita no dimensionamento (FRANCO, 2007).

Na aba *Modelagem*, o projetista seleciona o modelo de comportamento da estrutura do pavimento. Os modelos se referem à fadiga, deformação permanente dos materiais e tensão limite no subleito (FRANCO, 2007). A Figura 36 mostra a aba *Modelagem*.

Figura 36 – Aba Modelagem



Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

Nota-se que é nessa aba onde define-se a vida útil do pavimento, ou o *Período de projeto* como é colocado. Por definição foi colocado 10 (dez) anos como esse período.

Na aba *Carregamento* foram inseridos os dados sobre os eixos dos veículos que compõem o volume de tráfego. O SisPav analisa os diversos eixos inseridos e calcula diretamente o número “N”, número este que pode variar se forem alterados os dados relativos ao peso, volume de tráfego, taxa de crescimento e vida útil de projeto

(FRANCO, 2007). A Figura 37 mostra a aba *Carregamento* com os eixos do dimensionamento padrão inseridos.

Figura 37 – Aba Carregamento

EIXO	CONFIGURAÇÃO	RODAS	VOLUME (1º Ano)	TAXA (%aa)	CARGA (ton)	PRESSÃO (MPa)	Sx (cm)	Sy (cm)	ÁREA (cm ²)	RAIO (cm)
1	Eixo Simples	2	38690	0,00	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000	10,925
2	Eixo simples de roda dupla	4	38690	0,00	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000	9,9736
3	Eixo Simples	2	22630	0,00	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000	10,925
4	Dois eixos duplos em tandem	8	22630	0,00	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250	9,1952
5	Eixo Simples	2	28470	0,00	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000	10,925
6	Eixo simples de roda dupla	4	28470	0,00	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000	9,9736
7	Três eixos duplos em tandem	12	28470	0,00	25,50	0,80	32,40	120,00	265,6250	9,1952
8	Eixo Simples	2	11680	0,00	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000	10,925
9	Dois eixos duplos em tandem	8	11680	0,00	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250	9,1952
10	Três eixos duplos em tandem	12	11680	0,00	25,50	0,80	32,40	120,00	265,6250	9,1952

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

Deve-se notar que a classificação dos eixos é realizada no SisPav de maneira diferente à que foi definida inicialmente nesta pesquisa. Logo, a nomenclatura foi alterada a partir deste momento. A Tabela 6 exemplifica as mudanças adotadas.

Tabela 6 – Eixos SisPav

EIXOS PESQUISA	EIXOS SISPAV	VOLUME ANUAL
ESRD	Eixo Simples + Eixo Simples de Roda Dupla	38690
ETD	Eixo Simples + 2 Eixos Duplos em Tandem	22630
ETT + C.S.	Eixo Simples + Eixo Simples de Roda Dupla + 3 Eixos Duplos em Tandem	28470
ETT +C.D.	Eixo Simples + Eixo Duplo em Tandem + 3 Eixos Duplos em Tandem	11680

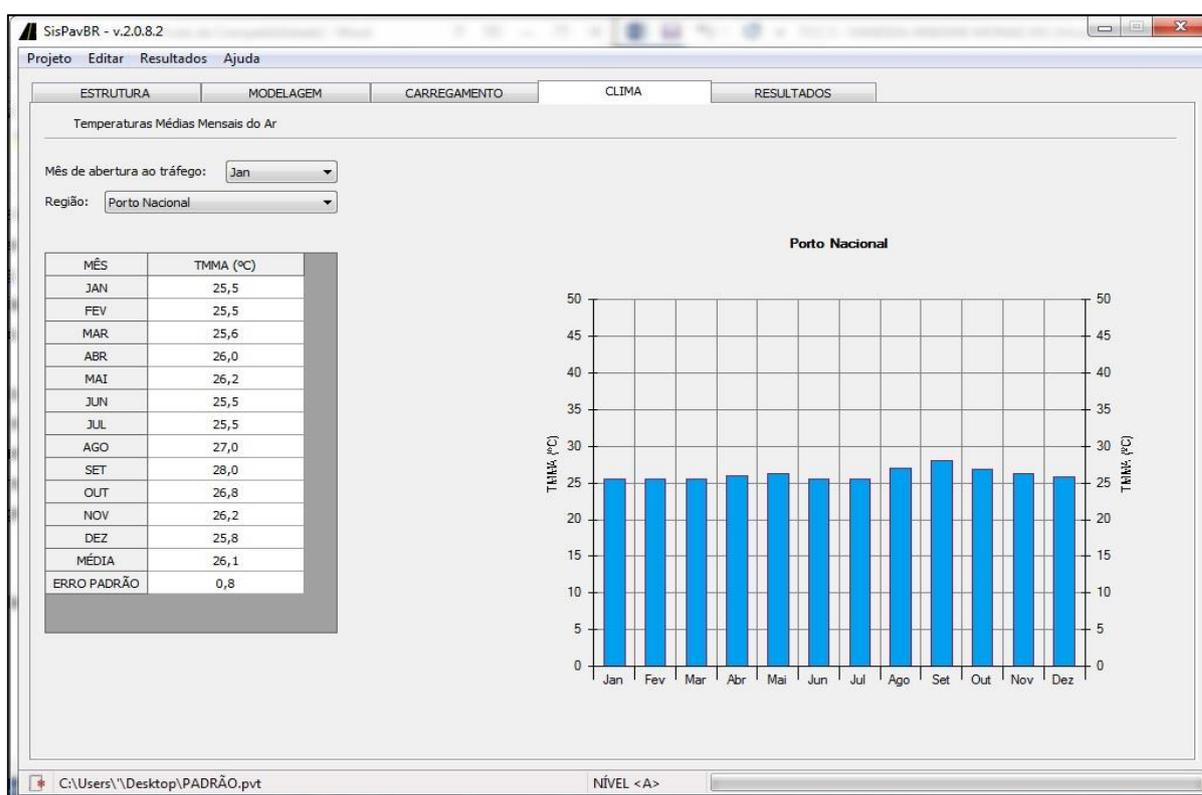
Fonte: Elaboração própria

O *VOLUME* corresponde ao volume anual de tráfego. Cada veículo classificado como ESRD (Eixo Simples de Roda Dupla) é interpretado no SisPav como um eixo simples, somado a um eixo simples de rodas duplas. Por isso, a necessidade de classificar todos os veículos novamente.

Na aba *Clima* se define o local onde vai ser construído o pavimento. Quando se define a região do projeto, obtém-se os dados a respeito das temperaturas médias mensais do ar e o programa faz uma conciliação dos efeitos de envelhecimento do ligante asfáltico com as características climáticas da região (FRANCO, 2007).

É necessário ressaltar que até a presente data, a aba *Clima* não influencia nos resultados, pois ainda não foi totalmente implementada. A Figura 38 mostra a aba *Clima*.

Figura 38 – Aba Clima (Inativa)



Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

Está em fase de desenvolvimento uma nova versão do SisPav onde o comportamento do pavimento em função da temperatura estará totalmente compreendido e integrado junto à análise que o programa efetua.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Contagem dos veículos

Para permitir um maior agrupamento dos dados, os mesmos foram separados de acordo com a quantidade de carga que o veículo transportava. A Tabela 7 traz a contagem dos veículos e sua situação em relação aos limites legais.

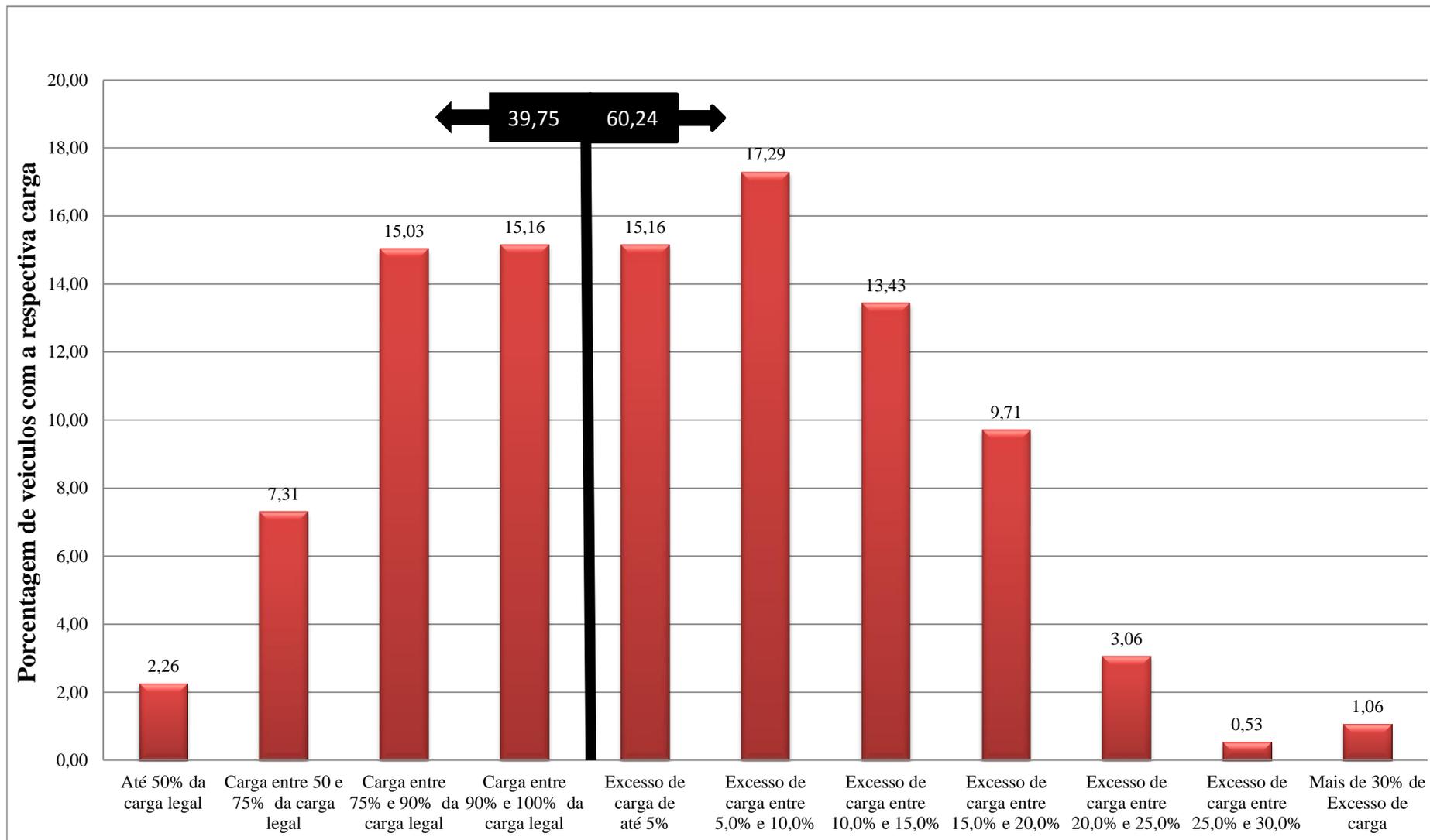
Tabela 7 – Contagem dos veículos

Situação	Quantidade
Até 50% da carga legal	17
Carga entre 50 e 75% da carga legal	55
Carga entre 75% e 90% da carga legal	113
Carga entre 90% e 100% da carga legal	114
Excesso de carga de 0,0% até 5%	114
Excesso de carga entre 5,0% e 10,0%	130
Excesso de carga entre 10,0% e 15,0%	101
Excesso de carga entre 15,0% e 20,0%	73
Excesso de carga entre 20,0% e 25,0%	23
Excesso de carga entre 25,0% e 30,0%	4
Mais de 30% de Excesso de carga	8
Total	752

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que dos 752 veículos analisados, 60,24% deles apresentaram valores acima dos limites legais de carga. O Gráfico 1 mostra as faixas de carregamento, com excesso ou não, que os veículos apresentaram.

Gráfico 1 – Faixas de carregamento



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 1 mostra que 60,24% de todos os veículos analisados apresentaram excesso de carga. As Tabelas 8 a 12 mostram a divisão por cada tipo de eixo.

Tabela 8 – Quantidades de cada configuração de eixo

EIXO	TOTAL
ESRD	32
ETD	555
ETT	165
TOTAL	752

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9 – Contagem de Eixos Simples de Roda Dupla

Número de veículos com excesso							
2							
Faixa de excesso de carga							
0%-5%	5%-10%	10%-15%	15%-20%	20%-25%	25%-30%	30%-35%	35%-40%
1	1	0	0	0	0	0	0
Porcentagem no total de 32 veículos							
3,13%	3,13%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 – Contagem de Eixos Tandem Duplos

Número de veículos com excesso							
366							
Faixa de excesso de carga							
0%-5%	5%-10%	10%-15%	15%-20%	20%-25%	25%-30%	30%-35%	35%-40%
88	84	87	73	22	4	7	1
Porcentagem no total de 555 veículos							
15,86%	15,14%	15,68%	13,15%	3,96%	0,72%	1,26%	0,18%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 - Contagem de Eixos Tandem Triplos com cavalo mecânico simples

Número de veículos com excesso							
82							
Faixas de excesso de carga							
0%-5%	5%-10%	10%-15%	15%-20%	20%-25%	25%-30%	30%-35%	35%-40%
22	45	13	1	1	0	0	0
Porcentagem no total de 119 veículos							
18,49%	37,82%	10,92%	0,84%	0,84%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 – Contagem de Eixos Tandem Triplos com cavalo mecânico de rodas duplas

Número de veículos com excesso							
3							
Faixas de excesso de carga							
0%-5%	5%-10%	10%-15%	15%-20%	20%-25%	25%-30%	30%-35%	35%-40%
1	1	1	0	0	0	0	0
Porcentagem no total de 46 veículos							
2,17%	2,17%	2,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaboração própria

A maior parte dos excessos de carga ficaram na faixa entre 5% a 20%. Isto mostra que talvez a falta de um controle rigoroso no momento de carregar o veículo pode ocasionar excessos acidentais, ou sem a intensão exceder os limites legais.

4.2 Dimensionamento padrão obtido pelo SisPav

Os carregamentos utilizados no dimensionamento padrão estão exibidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Dimensionamento Padrão

Eixo	Tipo	Rodas	Volume (1º ano)	Taxa (%aa)	Peso (ton.)
1	Eixo Simples	2	38690	0,00	6,00
2	Eixo simples de roda dupla	4	38690	0,00	10,00
3	Eixo Simples	2	22630	0,00	6,00
4	Dois eixos duplos em tandem	8	22630	0,00	17,00
5	Eixo Simples	2	28470	0,00	6,00
6	Eixo simples de roda dupla	4	28470	0,00	10,00
7	Três eixos duplos em tandem	12	28470	0,00	25,50
8	Eixo Simples	2	11680	0,00	6,00
9	Dois eixos duplos em tandem	8	11680	0,00	17,00
10	Três eixos duplos em tandem	12	11680	0,00	25,50

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

Faz-se necessário notar que, a coluna *Taxa* refere-se à taxa de crescimento de tráfego anual. Como não existem informações confiáveis sobre este dado na RSC-377, optou-se por considerar como 0,0%. O DNIT sugere que, para casos onde não existe essa informação, a taxa seja considerada igual a 3,0%, mas como no trabalho de Morais (2014) este valor não foi considerado, decidiu-se não considerá-lo também neste trabalho.

O número “N” calculado foi de: $N = 9,158e+06$ e foram inseridas dez combinações de eixos. Nota-se que o valor da carga de cada eixo corresponde ao limite legal estipulado pela legislação vigente. Para esses carregamentos, a rodovia dimensionada possui o resumo de dimensionamento exibido na Figura 39.

Figura 39 – Relatório de dimensionamento

Resumo do dimensionamento

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos no SisPavBR.
 Dano Crítico no Pavimento: 99,47% com confiabilidade de 85%
 Tipo: Fadiga de Misturas Asfálticas na Camada: 1
 Vida de projeto estimada em 10,1 ano(s)
 Flow Number das misturas asfálticas > 300 ciclos

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav.

Com a vida útil do pavimento estimada em 10,1 anos, as dimensões das camadas do pavimento, bem como suas características necessárias, estão exibidas no Quadro 8.

Quadro 8 – Dimensionamento da estrutura

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Misturas CAP 50/70	13,4	Resiliente Linear MR = 4000	0,33
2	BRITA GRADUADA COM CIMENTO (BGTC) Projeto	20,0	Resiliente Linear MR = 5000	0,25
3	BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS) Projeto	30,0	Resiliente Linear MR = 500	0,35
4	SUBLEITO Solo Fino NA	0,0	Resiliente Linear MR = 401	0,35

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

As colunas *Módulo* e *Coefficiente de Poisson* referem-se as propriedades mecânicas dos materiais utilizados nas camadas do pavimento, e são encontrados através de ensaios mecânicos normatizados.

Os valores exibidos no Quadro 8 são as dimensões necessárias para que a vida útil do pavimento seja cerca de 10 anos. Isso levando em conta que as cargas de cada eixo estão dentro dos limites legais, ou seja, que não existe sobrecarga. Esta mesma estrutura foi mantida para a verificação da vida útil considerando o excesso de carga.

4.3 Vida útil considerando o excesso de carga no SisPav

Para esta nova análise foi realizada uma nova contagem dos eixos, considerando sua parcela de representatividade nos dados recebidos pela cooperativa. Por exemplo, um eixo duplo tandem com 20% de excesso de carga, que representava uma parcela de 11% dos eixos duplos tandem, continuou representando a mesma porcentagem, mas desta vez em relação à contagem total de Moraes (2014). Desta forma foram definidos os novos dados de entrada na aba *Carregamento* e estão exibidos no Tabela 14.

Tabela 14 – Carregamento dos eixos com sobrecarga.

Eixo	Tipo	Rodas	Volume (1º ano)	Taxa (%aa)	Peso (ton.)
1	Eixo Simples	2	36272	0,00	6,00
2	Eixo simples de roda dupla	4	36272	0,00	10,00
3	Eixo Simples	2	7706	0,00	6,00
4	Dois eixos duplos em tandem	8	7706	0,00	17,00
5	Eixo Simples	2	8852	0,00	6,00
6	Eixo simples de roda dupla	4	8852	0,00	10,00
7	Três eixos duplos em tandem	12	8852	0,00	25,50
8	Eixo Simples	2	3632	0,00	6,00

(Continua...)

(Continua...)

Eixo	Tipo	Rodas	Volume (1º ano)	Taxa (%aa)	Peso (ton.)
9	Dois eixos duplos em tandem	8	3632	0,00	17,00
10	Três eixos duplos em tandem	12	3632	0,00	25,50
11	Eixo Simples	2	1209	0,00	6,30
12	Eixo simples de roda dupla	4	1209	0,00	10,50
13	Eixo Simples	2	1209	0,00	6,60
14	Eixo simples de roda dupla	4	1209	0,00	11,00
15	Eixo Simples	2	3588	0,00	6,30
16	Dois eixos duplos em tandem	8	3588	0,00	17,85
17	Eixo Simples	2	3425	0,00	6,60
18	Dois eixos duplos em tandem	8	3425	0,00	18,70
19	Eixo Simples	2	3547	0,00	6,60
20	Dois eixos duplos em tandem	8	3547	0,00	18,70
21	Eixo Simples	2	2977	0,00	7,20
22	Dois eixos duplos em tandem	8	2977	0,00	20,40
23	Eixo Simples	2	897	0,00	7,50
24	Dois eixos duplos em tandem	8	897	0,00	21,25
25	Eixo Simples	2	163	0,00	7,80
26	Dois eixos duplos em tandem	8	163	0,00	22,10
27	Eixo Simples	2	285	0,00	8,10
28	Dois eixos duplos em tandem	8	285	0,00	22,95
29	Eixo Simples	2	41	0,00	8,40
30	Dois eixos duplos em tandem	8	41	0,00	23,80
31	Eixo Simples	2	5263	0,00	6,30

(Continua...)

(Continua...)

Eixo	Tipo	Rodas	Volume (1º ano)	Taxa (%aa)	Peso (ton.)
32	Eixo simples de roda dupla	4	5263	0,00	10,50
33	Três eixos duplos em tandem	12	5263	0,00	26,77
34	Eixo Simples	2	10766	0,00	6,60
35	Eixo simples de roda dupla	4	10766	0,00	11,00
36	Três eixos duplos em tandem	12	10766	0,00	28,05
37	Eixo Simples	2	3110	0,00	6,90
38	Eixo simples de roda dupla	4	3110	0,00	11,50
39	Três eixos duplos em tandem	12	3110	0,00	29,32
40	Eixo Simples	2	239	0,00	7,20
41	Eixo simples de roda dupla	4	239	0,00	12,00
42	Três eixos duplos em tandem	12	239	0,00	30,60
43	Eixo Simples	2	239	0,00	7,50
44	Eixo simples de roda dupla	4	239	0,00	12,50
45	Três eixos duplos em tandem	12	239	0,00	31,88
46	Eixo Simples	2	2159	0,00	6,30
47	Dois eixos duplos em tandem	8	2159	0,00	17,85
48	Três eixos duplos em tandem	12	2159	0,00	26,77
49	Eixo Simples	2	4417	0,00	6,60
50	Dois eixos duplos em tandem	8	4417	0,00	18,70
51	Três eixos duplos em tandem	12	4417	0,00	28,05
52	Eixo Simples	2	1276	0,00	6,90

(Continua...)

(Continua...)

Eixo	Tipo	Rodas	Volume (1º ano)	Taxa (%aa)	Peso (ton.)
53	Dois eixos duplos em tandem	8	1276	0,00	19,55
54	Três eixos duplos em tandem	12	1276	0,00	29,32
55	Eixo Simples	2	98	0,00	7,20
56	Dois eixos duplos em tandem	8	98	0,00	20,40
57	Três eixos duplos em tandem	12	98	0,00	30,60
58	Eixo Simples	2	98	0,00	7,50
59	Dois eixos duplos em tandem	8	98	0,00	21,25
60	Três eixos duplos em tandem	12	98	0,00	31,88

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

O novo número “N” calculado foi de: $N = 1,339e+07$. Foram inseridas 60 configurações de eixos, sendo uma para cada valor de excesso de carga, variando a cada 5%.

O resultado encontrado para a nova estimativa de vida útil está exibido na Figura 40.

Figura 40 – Relatório dimensionamento sobrecarga

Resumo da análise

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos no SisPavBR.

Dano Crítico no Pavimento: 110,55% com confiabilidade de 85%

Tipo: Fadiga de Misturas Asfálticas na Camada: 1

Vida de projeto estimada em 9,0 ano(s)

Fonte: Projetado pelo autor no SisPav

A redução de vida útil no pavimento foi para 9 anos, anteriormente a vida útil estava prevista para 10 anos. Redução de 1 ano causada somente pelo excesso de carga dos veículos que transportaram grãos de arroz até a cooperativa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Após a análise dos resultados obtidos, notou-se que o excesso de carga causa uma redução na vida útil do pavimento. Essa redução ocorre devido, principalmente, a problemas relacionados à fadiga, que é causada pelo efeito dinâmico dos eixos passando na rodovia.

Assim, a qualidade da rodovia é afetada antes do tempo previsto, sendo necessária uma intervenção para recuperar o pavimento. Problemas causando diminuição no conforto e na segurança aparecerão antes do previsto, aumentando a possibilidade de acidentes e o custo de transporte. Esse aumento no custo poderá afetar a economia da região, visto que a cultura do arroz é a principal fonte de renda e é necessário transportá-lo por rodovias tanto para sua secagem, quanto para seu beneficiamento e distribuição.

A redução da vida útil pode parecer pequena, inicialmente, mas deve-se levar em consideração que a rodovia analisada apresenta um baixo volume de tráfego anual. Ao analisar-se um trecho que possua um tráfego com maior volume, em que a quantidade de eixos é maior, a tendência lógica é que a redução da vida útil seja ainda maior. Além disso, os dados recebidos pela cooperativa representam apenas o transporte de arroz realizados num período ligeiramente maior que dois meses. Deve-se entender que o transporte é realizado em vários meses e ao longo de vários anos, além de que a rodovia também é rota para outros produtos agrícolas – como soja por exemplo – que não são recebidos pela cooperativa. Tudo isso leva a crer que o dano causado ao pavimento pode ser ainda mais significativo.

É importante ressaltar que a grande maioria dos veículos utilizados no transporte de cargas são modelos antigos, principalmente da década de 1970, os quais não eram dimensionados para suportar uma carga muito elevada, visto que os limites legais na época eram inferiores. Com isto, o excesso de peso, seja peso bruto total ou peso por eixo, pode causar danos às molas de suspensão, aos freios e ao próprio eixo do veículo, aumentando o risco de acidentes pelo desgaste dos componentes mecânicos.

O tráfego também é afetado, visto que um veículo com sobrepeso trafega numa velocidade menor, o que prejudica o escoamento e a capacidade da via.

As obras de arte como pontes e viadutos também sofrem com o excesso de peso, visto que são dimensionadas de acordo com as normas, que preveem um trem-tipo com carga sem excesso.

A dificuldade de coleta dos dados junto às cooperativas, além dos possíveis erros de aferição de placa e eixo, torna necessário que mais trabalhos acadêmicos sejam realizados, de forma a obter-se uma janela maior de observação no que se refere ao transporte de cargas pelo interior dos municípios.

As diferentes tipologias de semirreboque e reboque, tornaram difícil compreender quais as configurações de eixos em cada caso. Vale dizer que a placa informada utilizada nesta pesquisa oferece apenas a informação relativa ao cavalo mecânico. Tal fato mostra a necessidade de conhecer ainda mais a frota utilizada na região do município de Alegrete.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho e do conhecimento obtido no decorrer da pesquisa, sugere-se os seguintes trabalhos a serem desenvolvidos:

- Desenvolver técnicas mais efetivas no controle de recebimento de carga nas cooperativas, visando facilitar o acesso à informação por parte dos pesquisadores
- Realizar um estudo verificando a influência do excesso de carga em estradas de terra, visto que a maior parte da ligação entre as plantações e as estradas pavimentadas é feita por vias não pavimentadas.
- Aplicar esta metodologia às estradas com volume de tráfego superior ao da rodovia utilizada nesse trabalho.
- Considerar o excesso de carga no dimensionamento de obras de arte, como pontes e viadutos.

- Realizar estudo para outras variáveis não consideradas neste trabalho, como o transporte de outros materiais e outras possíveis configurações de eixos existentes na frota.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F. **Efeitos dos Excessos de Carga sobre a durabilidade dos pavimentos**. 2005. 232p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE; SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE, **Pesquisa CNT de rodovias 2015: relatório gerencial**. - Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2015.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, **Resolução nº 258** de 30 de novembro de 2007. Brasília, 2007.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, **Resolução nº 489** de 05 de junho de 2014. Brasília, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 005/2003 - TER**: defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

FONTENELE, H. B. **O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Londrina, n.18, p.9-103, nov. 2011.

FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav**. 2007. 315p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

HALLACK, ABDO. **Pavimento de Concreto**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, 2012. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/10/Aula-Pav.-Rígido.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2015.

HIJJAR, M. F.; LOBO, A. **Cenário da infraestrutura rodoviária no Brasil**. Instituto ILOS, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/cenario-da-infraestrutura-rodoviaria-no-brasil/>>. Acesso em: 15 de julho de 2015.

KLAMT, R. A. **Influência da Ação do Tráfego no Custo de Construção e Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2014. 182p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

LINK, V. M. **Pavimentos asfálticos em corredores de ônibus: patologias e concepção de alternativas**. 2009. 66p. Trabalho de Conclusão de Curso-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MEDINA, J. e MOTTA, L.M.G., 2005, **Mecânica dos Pavimentos**. 2ª Edição, Edição dos autores. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 574p. 2005.

MOMM, L.; BARRA, B. S.; OTTO, G. G.; PÉREZ, Y. A. G. **Pesagem em movimento e o pavimento em concreto asfálticos**, Florianópolis. 2011.

MORAIS, V. A. **Estudo da Influência da Rigidez do Revestimento e da Base no Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Flexíveis**. 2014. 95p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, 2014.

MOTTA, L. M. G. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas**. 1991. 366p. Tese (Doutorado em ciências em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OTTO, G.G., MOMM, L., VALENTE, A. M. **Pesagem em Movimento e Dano das Cargas em Movimento**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE. **Alegrete - Informações sobre Alegrete**. Disponível em: <<http://www.alegrete.rs.gov/site/>>. Acesso em: 15 de julho de 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA PÚBLICA. **SINEP CIDADÃO**. 2015. Disponível em: <<https://www.sinesp.gov.br/sinesp-cidadao>>. Acesso em: 18 de agosto de 2015.

SOUZA, J. de M. **Patologias em pavimentos flexíveis**. 2004. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

VASSOLER, G.; CHONG, W; SPECHT, L. P. **Comportamento mecânico de pavimentos flexíveis submetidos a gradientes térmicos**, Ijuí, p. 265-271, 2011.

WASHINGTON ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION - WAPA. **Asphalt Pavement Guide**. Disponível em: <<http://www.asphaltwa.com/2010/09/17/pavement-structure/>>. Acesso em: 19 de agosto de 2015.

ANEXO A – Tabela de pesos dos caminhões

 Tabela de Pesos - Adição de E.V.A				
Modelo Veículo	Tara	PBT	Lotação	Acrésc. de carga com E.V.A
Cargo 815 S - e / 816 S	4.500	11.000	6.500	1.750
Cargo 1215 / 1217	7.500	19.500	12.000	6.200
Cargo 1317	7.500	19.700	12.200	5.200
Cargo 1415 / 1417	8.000	22.000	14.000	6.000
Cargo 1421 / 1422 / 1517 / 1521	8.000	22.000	14.000	6.000
Cargo (toda linha 16 e 17)	8.000	23.000	15.000	5.500
F 12.000	7.500	20.180	12.680	6.880
F 13.000 / F 14.000	7.500	21.100	13.600	5.500
F 16.000	7.500	22.400	14.900	5.460
Chevrolet 14.000	7.500	20.500	13.000	5.700
GMC 12.170/12.190	7.500	20.700	13.200	6.900
GMC 14.190/15.190	8.000	22.000	14.000	5.500
Iveco 120 E 15	7.500	19.000	11.500	5.500
Iveco 130 V 18	6.750	21.300	14.550	7.000
Iveco 150 E 18	8.000	22.000	14.000	5.500
Iveco 160 E 21 / 170 E 21	8.000	23.000	15.000	5.500
MB 710	4.500	9.100	4.600	1.400
MB 915	4.500	13.000	8.500	3.000
MB 1016 Accelo	***	11.000 / 13.000	***	Depende do modelo escolhido
MB 1113 / 1214 / *1215 / *1218	7.500	19.000	11.500	4.600 / *6.900
MB 1313	7.500	21.000	13.500	6.500
MB 1318 / 1418 Atego	8.000	21.300	13.300	6.300 / 5.810
MB 1314 / 1316 / 1418	7.500	21.500	14.000	7.000 / *5.600
MB 1513	7.500	22.000	14.500	5.500
MB 1420 / 1517 / 1518 / 1524	8.000	22.000	14.000	5.600
MB 1620 / 2216	8.000	22.000	14.000	5.000
MB 1519 / 1525 / 1630	8.000	23.000	15.000	6.500
MB 1634 / 1635 / 1720 / 1728	8.000	23.000	15.000	5.500
MB 1718 Atego	8.000	23.000	15.000	4.500
MB 1725 Atego	9.000	23.000	14.000	5.500
VW 8140	4.500	10.000	5.500	1.300
VW 8120	4.500	10.500	6.000	1.800
VW 8.150 ***DELIVERY***	NÃO	PODE	SER	TRUCKADO
VW 8150 / *9150 E / 9.160	4.500	11.000	6.500	1850 / *1000
VW 11.140 / 12.140 / 12.170	7.500	19.000	11.500	5.200
VW 13.130	7.500	20.700	13.200	6.200
VW 13.180 / 13.190	7.500	20.800	13.300	6.300
VW 14.210 / 14.140	8.000	21.400	13.400	5.900
VW 14.170 / toda linha 15	8.000	22.000	14.000	6.000
Todas linhas 16 e 17	8.000	23.000	15.000	5.500

Fonte: SILPA