



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BIANCA MARQUES AMADO LAET RODRIGUES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AUMENTO DE CARGA POR EIXO NA
ESTIMATIVA DO NÚMERO N DE PROJETO E NA VIDA ÚTIL DO
PAVIMENTO EM UM TRECHO DA AVENIDA NS-15 EM PALMAS-TO**

Palmas/TO

2022

BIANCA MARQUES AMADO LAET RODRIGUES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AUMENTO DE CARGA POR EIXO NA
ESTIMATIVA DO NÚMERO N DE PROJETO E NA VIDA ÚTIL DO
PAVIMENTO EM UM TRECHO DA AVENIDA NS-15 EM PALMAS-TO**

Projeto de Pesquisa foi avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção parcial do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Me. Janaina Lima de Araújo.

Palmas/TO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

R696a Rodrigues, Bianca Marques Amado Laet.

Análise da influência do aumento de carga por eixo na estimativa do Número N de projeto e na Vida Útil do pavimento em um trecho da Avenida NS-15 em Palmas - TO.. / Bianca Marques Amado Laet Rodrigues. – Palmas, TO, 2022.

88 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2022.

Orientador: Janaina Lima de Araújo

1. Pavimento Flexível. 2. Excesso de carga. 3. Número N. 4. Vida útil do Pavimento. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

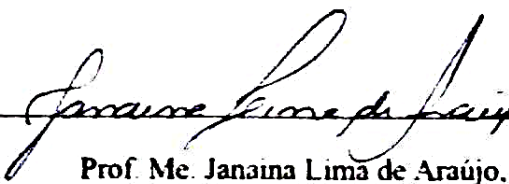
BIANCA MARQUES AMADO LAET RODRIGUES

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AUMENTO DE CARGA POR EIXO NA ESTIMATIVA DO NÚMERO N DE PROJETO E NA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO EM UM TRECHO DA AVENIDA NS-15 EM PALMAS-TO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 13 / 07 / 22

Banca Examinadora


Prof. Me. Janaina Lima de Araújo, UFT


Prof. Dr. Marcus Vinicius Ribeiro e Souza, UFT


Prof. Me. Flávio Vieira da Silva Júnior, UNICATÓLICA

*Para meus pais, que nunca mediram
esforços para que eu chegasse aos meus
objetivos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida. E por me dado forças para alcançar essa conquista.

Aos meus pais, Verena e Eraldo, por ter me dado a oportunidade, apoio e incentivo para estudar o que eu escolhi. Principalmente a Dona Verena, que é minha maior incentivadora, é meu alicerce e dona da minha total admiração como mãe, mulher e pessoa. Aos meus irmãos, Bruno e Walter Halley, por eles serem o motivo de eu querer ser a melhor aluna que eu conseguir e uma pessoa capaz de atingir todos os meus objetivos.

Ao meu filho Lucca, por ser a luz na minha vida. Ao Alison, meu namorado, por todo o companheirismo, por me apoiar e me ajudar sempre que possível.

Aos meus tios, Francisco Vasconcelos e Elizete Feitosa, por serem meu abrigo longe de casa, meu suporte e conforto para poder ter uma caminhada tranquila.

Agradecer de maneira especial as minhas avós, minhas tias e madrinhas, que sempre me apoiaram dando suporte da forma que cada uma conseguia. Eu sempre falo que sou uma pessoa abençoada por receber o amor e carinho, além do exemplo, de tantas mulheres maravilhosas. Obrigada por tudo.

Aos meus avôs: José Amado, Irenildes Madalena e Lailda Laet, que são exemplos de vida e as rochas da minha família. Eu também agradeço a todos os meus familiares que contribuíram de alguma forma para que eu chegasse ao meu objetivo.

Aos amigos e colegas que conheci e reencontrei na UFT. Agradeço por todas as experiências, dos estudos as rodas de baralho, vocês foram essenciais para mim nesse período de graduação.

A professora Janaína, por ter me acolhido, orientado e me auxiliado neste trabalho. Obrigada pela dedicação e por ter acreditado em mim. Aos professores da banca examinadora, assim como a todos os professores que tive durante a graduação, obrigado pela contribuição para minha formação profissional.

RESUMO

O Brasil apresenta um grande domínio do transporte rodoviário, sendo o pavimento flexível uma estrutura dimensionada para resistir as tensões e deformações induzidas pelas cargas que trafegam nas rodovias. O excesso de carga dos veículos comerciais interfere diretamente no pavimento, causando a aceleração da degradação e redução da sua vida útil de projeto. Desta forma, é de suma importância a análise da influência do aumento de carga por eixo causado diante da Lei 14.229/21, que atualiza a tolerância de peso bruto por eixo para 12,5%. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência do aumento do excesso de carga por eixo no cálculo do número N e no tempo de vida útil do pavimento, tendo como objeto de estudo um trecho da Avenida NS-15 na cidade de Palmas -TO. Com esse intuito, foi realizada a estimativa do Número N, o dimensionamento pelo Método empírico do Departamento Nacional Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a análise mecanística-empírica pelo programa MeDiNa para diferentes configurações de carregamento com excesso de carga por eixo de 5%, 10% e 12,5%. Além disso, foi realizada a análise da influência da classe asfáltica na vida útil da via em estudo com as diferentes configurações de carregamento. O Número N, com o excesso de carga por eixo de 12,5%, teve um aumento de 49% comparado ao utilizado no projeto da Av. NS-15, com excesso de carga por eixo de 5%. No dimensionamento empírico não houve impacto na estrutura do pavimento com a alteração no excesso de peso. A partir da análise mecanística-empírica, o pavimento com 12,5% apresentou uma redução de 18 meses em vista a utilização de 5% de excesso de carga por eixo. Com a alteração da classe asfáltica, foi obtido um aumento de vida útil estimada entre 33 e 61 meses dos cenários em estudo. Portanto, a definição dos parâmetros do tráfego, bem como as características dos materiais, tem grande influência na vida útil de um pavimento, o que ressalta a importância da qualidade técnica dos materiais e do estudo de tráfego, para garantir que o pavimento atenda os objetivos para o qual ele foi dimensionado.

Palavras-chaves: Pavimento Flexível. Excesso de carga. Número N. Vida útil. MeDiNa.

ABSTRACT

Brazil has a great domain of road transport, and the flexible pavement is a structure designed to resist the tensions and deformations induced by the loads that travel on the highways. The excess load of commercial vehicles directly interferes with the pavement, causing the acceleration of degradation and reduction of its useful life designed. Thus, it is extremely important to analyze the influence of the increase in axle load caused by Law 14.229/21, which updates the gross weight tolerance per axle to 12,5%. This work aims to analyze the influence of the increase in the excess load per axle in the calculation of the N Number and in the useful life of the pavement, having as object of study a section of Avenue NS-15 in the city of Palmas-TO. For this purpose, the estimated of the N Number, the sizing by the empirical method of the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) and the mechanistic-empirical analysis by the MeDiNa program were carried out for different loading configurations with excess load per axle of 5%, 10% and 12.5%. Besides, the analysis of the influence of the asphalt class on the useful life of the highway under study was carried out with the different loading configurations. Number N, with an excess axle load of 12.5%, had an increase of 49% compared to the one used in the Av project. NS-15, with 5% excess axle load. In the empirical sizing, there was no impact on the pavement structure with the change of excess weight. From the mechanistic-empirical analysis, the pavement with 12.5% showed a reduction of 18 months in comparison of the use of 5% excess load per axle. With the change in the asphalt class, an increased in the estimated useful life between 33 and 61 months of the scenarios under study was obtained. Therefore, the definition of traffic parameters, as well as the characteristics of the materials, has a great influence on the useful life of a pavement, which highlights the importance of the technical quality of the materials and the traffic study, to ensure that the pavement reaches the objectives, for which it was sized.

Key-words: Flexible pavement. Excess load. Number N. Pavement life. MeDiNa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Camadas de um pavimento.	15
Figura 2 – Gráfico de vida útil de um pavimento.....	17
Figura 3 – Trincas e Afundamentos.	19
Figura 4 – Tipos de Afundamentos.	20
Figura 5 – Outros defeitos.	20
Figura 6 – Tipos de eixo e seus limites de carga.	22
Figura 7 – Curvas de Fatores Equivalência de Operação.....	24
Figura 8 – Diferença entre PBT, PBTC e Peso por Eixo.	25
Figura 9 – Gráfico do número de acidentes causados por carga excessiva e/ou mal adicionada por tipo em 2018.....	28
Figura 10 – Gráfico de distribuição de infrações, por excesso de PBT/PBTC e por eixo, com número de infrações e porcentagem de peso excedente.	29
Figura 11 – Fluxograma de atividades da pesquisa.....	30
Figura 12 – Alça Viária e Avenidas de Palmas.	31
Figura 13 – Tela Inicial do software MeDiNa.....	38
Figura 14 – Cálculo do Fator Veículo do software MeDiNa.	39
Figura 15 – Avaliação da evolução mensal dos danos na estrutura.	40
Figura 16 – Curva Granulométrica do Subleito.....	44
Figura 17 – Curva Granulométrica da Jazida 01.	45
Figura 18 – Curva Granulométrica da Jazida 02.	46
Figura 19 – Seção do Pavimento da Avenida NS-15.	48
Figura 20 – Variação relativa do Número N em função do Número N de projeto da Avenida NS-15.....	49
Figura 21 – Estrutura de Projeto Original da NS-15 e Estruturas Determinadas para os Números N em estudo.	51
Figura 22 – Vida útil estimada e Número N dos Cenários em estudo.	60
Figura 23 – Variação Relativa da Vida útil em função da Vida útil do Cenário N _{NS-15}	61
Figura 24 – Análise da Estrutura Original do Pavimento da NS-15.	62
Figura 25 – Dimensionamento do Pavimento da NS-15 pelo MeDiNa.	63
Figura 26 – Análise do Cenário N ₅ com a Classe Asfáltica 4.	65
Figura 27 – Estimativa da Vida útil de acordo com a Classe Asfáltica.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de Trincas e suas Classes de Fendas.....	19
Quadro 2 – Limite máximo permitido e pesos permitidos com as tolerâncias de 10% e 12,5%.	26
Quadro 3 – Distribuição das cargas atuantes por eixo (vazios, máxima legal, excesso).....	34
Quadro 4 – Espessura mínima de revestimento betuminoso.	35
Quadro 5 – Coeficientes de Equivalência Estrutural.....	36
Quadro 6 – Módulos de resiliência de misturas asfáltica compostas por CAP 50/60 e CAP 50/70 na literatura.	54
Quadro 7 – Tipos de Concreto Asfáltico e seus respectivos Módulos de Resiliência do Banco de Dados do Software MeDiNa.....	55
Quadro 8 – Módulo de Resiliência de Solos na literatura.	56
Quadro 9 – Valores típicos de coeficiente de Poisson da literatura.	57
Quadro 10 – Parâmetros do Modelo de Previsão da Deformação Permanente de Guimarães (2009) para diversos solos.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos Ensaios do Subleito da Avenida NS-15.	43
Tabela 2 – Resumo dos ensaios do material para base e sub-base da Avenida NS-15.	45
Tabela 3 – Números N determinados neste estudo.....	49
Tabela 4 – Espessura do Pavimento pelo Método DNIT.	51
Tabela 5 – Parâmetros de Entrada no Software MeDiNa das Camadas do Pavimento.....	59
Tabela 6 – Análise da Vida Útil dos Pavimentos pelo software MeDiNa.	59
Tabela 7 – Estimativa da vida útil do pavimento de acordo com a Classe Asfáltica.	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ATR	Afundamento de Trilha de Roda
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	California Bearing Ratio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DERTINS	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Tocantins
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ECE	Excesso de Carga por Eixo
ESRD	Eixo Simples Roda Dupla
ESRS	Eixo Simples Roda Simples
ETD	Eixo Tandem Duplo
ETT	Eixo Tandem Triplo
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISC	Índice de Suporte Califórnia
FC	Classe de Fendas
Fe	Fator de Eixo
Fc	Fator de cargas
Fr	Fator Climático Regional
Fv	Fator veículo
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional
MCT	Miniatura Compactada Tropical
MR	Módulo de Resiliência
Número N	Número de Solicitações de um Eixo Padrão
P	Período de Projeto
PBT	Peso Bruto Total
PBTC	Peso Bruto Total Combinado

UFT	Universidade Federal do Tocantins
UNITINS	Universidade Estadual do Tocantins
USACE	United States Corps of Engineers
VDMAT	Volume Médio Diário Anual de Tráfego
%AT	Área Trincada Estimada
$\rho_{d\,m\acute{a}x}$	Massa Específica Aparente Máxima

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	15
2.1.1	Vida útil do pavimento	16
2.1.2	Degradação do pavimento	17
2.1.3	Tipos de Defeitos.....	18
2.2	TRÁFEGO	21
2.2.1	Tipos de Eixo.....	22
2.2.2	Número N	22
2.3	EXCESSO DE PESO	25
2.3.1	Legislação regulamentadora.....	26
2.3.2	Danos com o excesso de peso do pavimento	26
2.3.3	Acidentes rodoviários versus o excesso de carga dos veículos.....	27
2.3.4	Fiscalização e multas.....	28
3	METODOLOGIA	30
3.1	AVALIAÇÃO DO PROJETO DA NS-15 - 1ª ETAPA	30
3.1.1	Estudo de Tráfego	31
3.1.2	Estudo Geotécnico.....	32
3.1.3	Projeto de Pavimentação	33
3.2	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N – 2ª ETAPA	33
3.3	DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO EMPÍRICO DAS ESTRUTURAS DO PAVIMENTO – 3ª ETAPA	34
3.4	ESTIMATIVA DO TEMPO DE VIDA ÚTIL UTILIZANDO SOFTWARE MEDINA – 4ª ETAPA.....	36
3.5	AVALIAÇÃO DO TIPO DE CA NO TEMPO DE VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO – 5ª ETAPA	40

4	RESULTADOS	42
4.1	OBTENÇÃO DOS DADOS DE PROJETO EXECUTIVO	42
4.1.1	Estudo de Tráfego	42
4.1.2	Estudo Geotécnico	43
4.1.3	Projeto de Pavimentação	47
4.2	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N	48
4.3	DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DO PAVIMENTO	50
4.4	ESTIMATIVA DO TEMPO DE VIDA ÚTIL	53
4.4.1	Dados de Entrada no MeDiNa	54
4.4.2	Análise da vida útil do pavimento	59
4.4.3	Projeto Original da Avenida NS-15	61
4.5	AValiação do tipo de classe asfáltica no tempo de vida útil	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

A condição superficial do pavimento tem impacto direto no desempenho do transporte rodoviário e na economia do país, sabe-se que o mesmo deve oferecer um bom desempenho ao longo de sua vida de serviço, proporcionando todos os requisitos para o qual foi dimensionado. No Brasil, os pavimentos são projetados a partir das características técnicas adotadas a partir de uma previsão de tráfego para durar em média de 10 anos, tempo esse chamado de vida útil de projeto. Entende-se por vida útil como sendo aquele tempo (meses ou ano) para qual o pavimento foi dimensionado, considerando as características técnicas levantadas no projeto do mesmo, e sem comprometimento da capacidade estrutural do pavimento em serviço.

Segundo o estudo realizado pela Confederação Nacional de Transportes (CNT) de Rodovias entre os anos de 2019 e 2021, é comum encontrar rodovias brasileiras deterioradas antes do prazo da sua vida útil, apresentando casos de pavimentos projetados para durar cinco anos, que chegam a apresentar problemas de desgaste em menos de sete meses depois de implantados. A pesquisa ainda aponta que um dos problemas das rodovias brasileiras é o não atendimento às exigências técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento como da qualidade dos materiais empregados no revestimento, e que as causas dos defeitos na rodovia são diversas, incluindo: o método de dimensionamento, falhas no processo construtivo e a falta de manutenção preventiva e de fiscalização, tanto construtiva quando em relação ao excesso de peso dos veículos de cargas.

No dimensionamento do pavimento são consideradas as características de tráfego previstas no período do projeto, de forma com que as camadas que formam o pavimento devem resistir aos esforços solicitantes dos veículos, sem que ocorram danos estruturais fora do aceitável. Se a estrutura for dimensionada de forma correta para as cargas com qual o pavimento será submetido e for bem construído, os deslocamentos gerados pelas cargas atuantes não irão provocar rupturas ou deformações excessivas além daquelas previstas com o passar do tempo.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), as deteriorações da parte estrutural do pavimento estão ligadas à sua capacidade de carga e, está diretamente associado ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento, de forma que os defeitos estruturais se originam especialmente da repetição das cargas e são vinculadas às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. Após a abertura do tráfego, a rodovia passa a sofrer deteriorações que afeta sua funcionalidade e sua estrutura, que ao passar dos anos são acumuladas influenciando no seu desempenho e na segurança dos usuários. Nas pesquisas da CNT, mencionadas anteriormente,

verificou-se ao avaliar a superfície do pavimento, que em 75% dos pavimentos analisados existem sinais de desgaste, presença de trinca em malha/remendos ou afundamento/ondulações/buracos.

O estado de conservação, bem como a manutenção contínua das rodovias do país, está diretamente ligado com a segurança, os custos operacionais e a eficiência energética dos transportes, refletindo em todos os demais fatores que envolvem a malha rodoviária. Garantir que o pavimento atenda a segurança e o conforto ao rolamento nas rodovias é fundamental para o desenvolvimento do país, bem como viabiliza o transporte de cargas rodoviário, que é um dos principais modais de transportes de carga no país.

Com isso, a previsão do tráfego atuante deve ser realizada considerando todas as características pertinentes e adequadas para que o pavimento possa apresentar uma vida útil conforme definido em projeto.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Sabe-se que de maneira geral, tradicionalmente no país o dimensionamento de um pavimento asfáltico é feito basicamente em função da capacidade de suporte do subleito e do número equivalente de operações de um eixo padrão para um período de projeto pré-estabelecido. A caracterização do tráfego para determinação do número N é de vital importância para garantir a vida útil do pavimento, visto que é o elemento de maior relevância no dimensionamento dos pavimentos, pois deve incluir tanto a magnitude da carga, como a configuração dos tipos de eixos e número de repetições de carga.

Por sua vez, a carga aplicada pelo tráfego é uma das maiores responsáveis pelos danos da estrutura, consequentemente por este motivo a caracterização do tráfego e a previsão do seu comportamento ao longo da vida útil do pavimento são importantes para o dimensionamento do mesmo. Quando o pavimento recebe uma carga além daquela para a qual estava prevista no dimensionamento, ele sofrerá deteriorações mais rápidas e consequentemente terá danos permanentes mais rápidos.

Em outubro de 2021, entrou em vigência a Lei nº 14.229, de modo geral, a lei alterou os limites de excesso de peso por eixo no transporte rodoviário de cargas, aumentando para 12,5 % sobre o limite de peso bruto por eixo à superfície de vias públicas. Já é a terceira atualização nos limites do peso bruto por eixo desde a Lei nº 7.408/85 que regularizou a tolerância de excesso no transporte de carga no Brasil, sendo o excesso permitido inicialmente

5% em 1985, passou para 7,5% em 1999, depois 10% em 2015, chegando aos 12,5% com a nova lei em vigor.

Diante do exposto, qual o impacto da Lei nº 14.229/21, que atualiza os limites de tolerância de peso bruto por eixo no transporte de carga, tem no cálculo do número N e no tempo de vida útil do pavimento?

Fernandes Junior (1994) destaca que não existe uma relação exclusivamente direta do Peso Bruto Total Combinado (PBTC) e o desempenho do pavimento, ou seja, a deterioração está ligada à carga por eixo e não por veículos. Mesmo um veículo exageradamente carregado pode não ser o mais danoso ao pavimento, desde que a carga esteja distribuída adequadamente entre os eixos constituintes do veículo.

1.2 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do aumento do excesso de carga no cálculo do número N e no tempo de vida útil do pavimento em um trecho da Avenida NS-15 na cidade de Palmas – TO.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste estudo, se faz necessário traçar os seguintes objetivos específicos.

- Avaliar o impacto em projeto da alteração na tolerância de carga por eixo, na estimativa do Número N de projeto rodoviário da via NS-15 usando como referência a Lei nº 14.229/21.
- Avaliar o impacto na estrutura do pavimento quando este dimensionado pelo método empírico ainda vigente no país, frente ao aumento da tolerância de carga por eixo.
- Analisar e comparar, por meio do dimensionamento mecanístico-empírico com software MeDiNa, o tempo de vida útil da via em estudo com os diferentes excessos de carga por eixo.
- Avaliar a influência da classe asfáltica na vida útil do pavimento para os tráfegos gerados com as diferentes combinações de excesso de carga por eixo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), cerca de 65% do transporte de cargas é realizado por rodovias e 95% de passageiros. Esses dados ressaltam a importância da infraestrutura rodoviária para o desenvolvimento econômico do país e para a garantia de direitos fundamentais dos seus cidadãos. O sistema de transportes brasileiro destaca-se por sua extensa matriz rodoviária, de acordo com a Pesquisa de CNT de Rodovias em 2021, que apenas 12,4% da extensão total é pavimentada e que ao longo da série histórica da pesquisa as rodovias pavimentadas avaliadas estão aquém do desejável.

Mesmo sendo um país com grande predomínio do transporte rodoviário, o Brasil 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 da Lei nº 14.229/21 que altera a Lei 7.408/85, que atualmente prevê tolerância sobre os limites de peso bruto total ou sobre o peso bruto transmitido por eixo à superfície das vias públicas. Agora, na pesagem dos caminhões, a tolerância do peso bruto total passará de 10% para 12,5% por eixo nas cargas acima de 50 toneladas. Para cargas inferiores 50 toneladas será permitido até 5% de excesso no peso.

Como justificativa para realização do estudo tem-se que o aumento de peso nos veículos comerciais trafegando nas estradas do país acelera a degradação do pavimento e reduz a sua vida de projeto. Visto que o pavimento rodoviário é uma estrutura dimensionada para resistir às tensões e deformações induzidas pelas cargas dos veículos que trafegarão sobre o revestimento, em sua maioria uma camada asfáltica, pelo período de projeto adotado. Com o passar do tempo, as repetidas solicitações dos veículos desenvolvem-se em patologias, sendo a deformação permanente das camadas granulares e a fadiga do material da camada de revestimento os principais defeitos que ocorrem nos pavimentos asfálticos brasileiros.

Assim, as vias com o tráfego de veículos com peso acima do permitido, são mais sujeitas a problemas de pavimentação, que levam à formação de irregularidades na pista, buracos e falhas. A limitação do peso por eixo é uma medida importante para garantir maior vida útil ao pavimento e mais segurança a todos os usuários da via.

A correta avaliação da solicitação do tráfego envolve a definição de elementos que consideram o volume de veículos, a classificação da frota e as cargas por eixo com as quais os veículos solicitam o pavimento. Caso essas informações não sejam adequadamente estimadas, as previsões de solicitações futuras da estrutura do pavimento tornam-se mais imprecisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

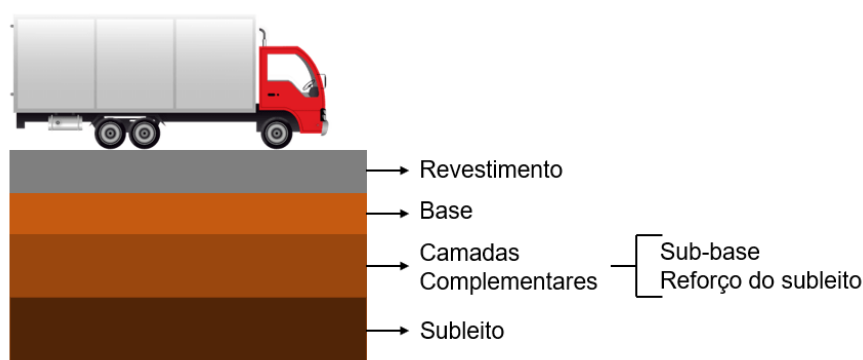
2.1 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), um pavimento é uma estrutura composta por múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre uma superfície final de terraplanagem. O pavimento tem como função resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e das intempéries de forma técnica e econômica, e simultaneamente deve proporcionar boas condições de rolamento, conforto e segurança aos usuários.

Para atender a todos os requisitos, o pavimento conta com uma estrutura composta de camadas para minimizar os esforços verticais produzidos pela ação do tráfego. O pavimento deve constituir de pelo menos duas camadas, são elas o revestimento e a base, e quando necessário, conforme o projeto é adicionado outras camadas.

As rodovias brasileiras constituem-se, em sua maioria, por pavimentos flexíveis, e sua estrutura é composta por camadas como mostra na Figura 1. As camadas do pavimento flexível devem ser dimensionadas para suportar determinadas condições de tráfego por um período de tempo estabelecido.

Figura 1 – Camadas de um pavimento.



Fonte: Autora.

Em um pavimento flexível, todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, e portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. O subleito é o terreno de fundação que servirá de apoio para o pavimento, ou seja é a camada que receberá toda a carga absorvida pelo pavimento. Dessa forma, ele interfere diretamente em toda estrutura, pois o pavimento deve ser resistente, e

dependendo das características do subleito será necessário: uma regularização, um reforço para o subleito e uma sub-base acima do anterior, antes da base e revestimento.

A sub-base é a camada complementar a base, quando, por motivos técnicos e econômicos, não é aconselhável construir a base sobre o reforço do subleito ou do subleito. Suas características devem ser melhores tecnicamente do as do material abaixo dela, e menores que as características da base. Com os tráfegos altos da atualidade a sub-base vem se tornando cada vez mais uma camada essencial e necessária, independente das características do subleito, do que apenas uma camada complementar. A base é a principal camada do pavimento, pois ela é responsável por oferecer o suporte estrutural do pavimento e dissipar os esforços solicitante para as próximas camadas, diminuindo seu impacto. Por fim, o revestimento, é a camada mais atingida pelo tráfego, e além de receber o impacto dos veículos é responsável por oferecer condições de conforto e segurança aos usuários, além de ter que resistir aos desgastes do pavimento.

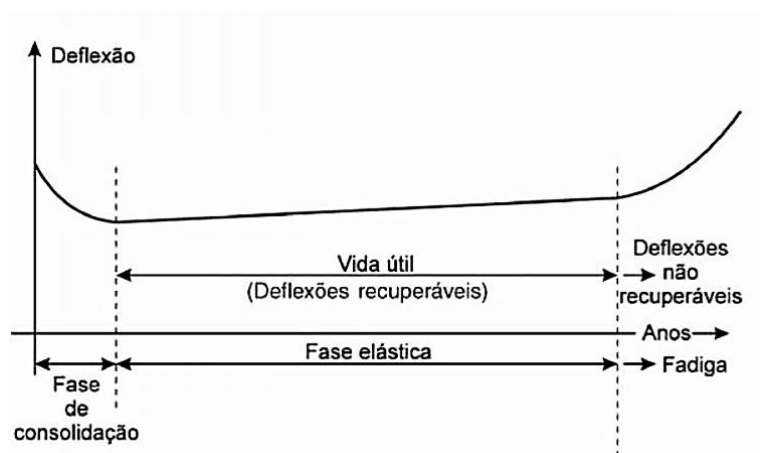
2.1.1 Vida útil do pavimento

No Brasil, as rodovias são projetadas, de acordo com as características técnica de projeto, para durar em média 10 anos, e sua vida útil deve ser estimada na fase de projeto, pois é um fator interveniente para o dimensionamento do pavimento. Também no projeto, é previsto uma manutenção afim de garantir o bom funcionamento do pavimento e sua vida útil. Assegurar que as rodovias permaneçam em perfeito estado é importante para garantir que os usuários as utilizem de maneira segura, econômica e confortável.

O desempenho de pavimentos rodoviários é resultado de uma combinação de vários fatores, tais como materiais empregados, técnicas construtivas, influências climáticas e solicitações do tráfego. Ao longo de sua vida útil, o desempenho do pavimento é diminuído com o surgimento de degradações através de diversos mecanismos oriundos dos fatores mencionados anteriormente.

Isso pode ser explicado analisando o gráfico da Figura 2, que mostra a relação entre as deflexões provocadas pelas passagens dos veículos e o tempo de vida. No início, tem-se a fase de consolidação pelo tráfego, a seguir a fase de deflexões recuperáveis, que corresponde a fase de vida útil para se chegar a fase em que as deflexões não são mais recuperáveis entrando o pavimento em fadiga. A curva resultante, característica de vários materiais, devido a sua forma, pode ser conhecida como "banheira".

Figura 2 – Gráfico de vida útil de um pavimento.



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Assim como as escolhas dos materiais que irão compor as camadas estruturais do pavimento, o tráfego tem extrema importância e sua completa caracterização é fundamental para os projetos de novos pavimentos, bem como a gerência de pavimentos existentes de forma a determinar com maior precisão as intervenções a serem realizadas em sua vida útil

2.1.2 Degradação do pavimento

As patologias de pavimentação asfáltica, conhecidas também como defeitos do pavimento, podem ser provocadas por erros cometidos desde o projeto até a utilização da via. Entre os fatores que podem ocasionar os defeitos podem ser destacados: o excesso de peso, o tráfego atuante, as ações intempéries, o método construtivo e os materiais utilizados.

Fernandes Junior *et. al* (1999) agrupam em dois grupos as causas da deterioração do pavimento: solicitações do tráfego e solicitações climáticas. As solicitações de tráfego estão associadas principalmente: à carga por eixo, ao tipo de eixo (simples, tandem, tandem duplo), ao tipo de rodagem (simples, duplo e extra largo), à pressão de enchimentos dos pneus e ao tipo de suspensão (feixe de molas e pneumático). As solicitações climáticas estão associadas as variações de temperatura e de teor de umidade.

A degradação de pavimentos está associada a várias patologias, dentre elas: deformações permanentes excessivas, fissuras de fadiga, retração térmica e desagregação. As duas primeiras estão relacionadas com o tráfego atuante e a estrutura do pavimento, enquanto as duas últimas com as características dos materiais utilizados e as condições climáticas atuantes. Mas independentemente de sua origem, as patologias reduzem de forma expressiva a

vida útil do pavimento, prejudicando o bom funcionamento da via e colocando em risco a segurança do usuário.

2.1.3 Tipos de Defeitos

Os defeitos no pavimento são classificados de acordo com uma terminologia normatizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT, para facilitar a identificação, além de auxiliar na rapidez em adotar a manutenção adequada para reparar o pavimento. A seguir é apresentada a definição dos defeitos mais comuns pela norma DNIT 005/2003 – TER.

a) Fendas

As fendas são caracterizadas por qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que tenha abertura de menor ou maior porte, se dividindo em fissuras ou trincas. São denominadas fissuras aquelas aberturas longitudinais, transversais ou oblíquas ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m. Diferentemente, as trincas são facilmente visíveis a vista desarmada com abertura superior as fissuras, e se caracterizam quanto a sua forma em trincas isoladas ou trincas interligadas, como são descritas no Quadro 1, além da classificação de acordo com sua abertura e erosão nas bordas.

b) Afundamentos

Os afundamentos são caracterizados como uma deformação permanente que ocorre nas superfícies do pavimento, podendo ser acompanhadas ou não de uma elevação da capa asfáltica, sendo classificado como afundamento plástico ou de consolidação. O afundamento plástico é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, e o afundamento de consolidação é causado pela consolidação de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito. Quando ocorrem com extensões até 6 m são chamados de “afundamentos locais” e quando ocorrem com extensões contínuas maiores são chamados de “afundamentos de trilha de roda”, como mostra a Figura 3.

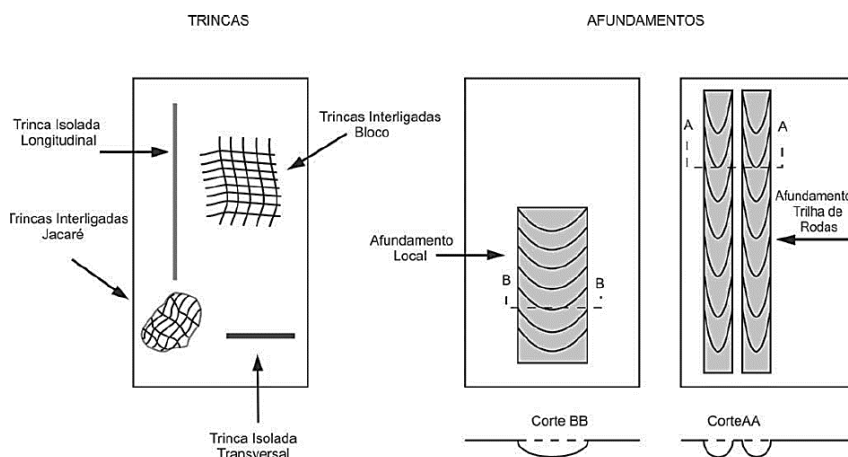
Quadro 1 – Tipos de Trincas e suas Classes de Fendas.

Trincas				Classe de Fendas		
Geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Isoladas	Transversais	Classificadas como curtas e longas, apresentam direção ortogonal ao eixo da via	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Classificadas como curtas e longas, apresentam direção paralelas ao eixo da via	FC-1	FC-2	FC-3
	Interligadas	“Jacaré”	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	-	-	FC-3
Não atribuídas ao fenômeno de fadigas	Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou revestimento		FC-1	FC-2	FC-3
	Interligadas	“Bloco”	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	-	-	FC-3

NOTA1: Classe das trincas isoladas
 FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.
 FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.
 FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.
 NOTA 2: Classe das trincas interligadas
 As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Fonte: Adaptada da Norma DNIT 005/03 – TER.

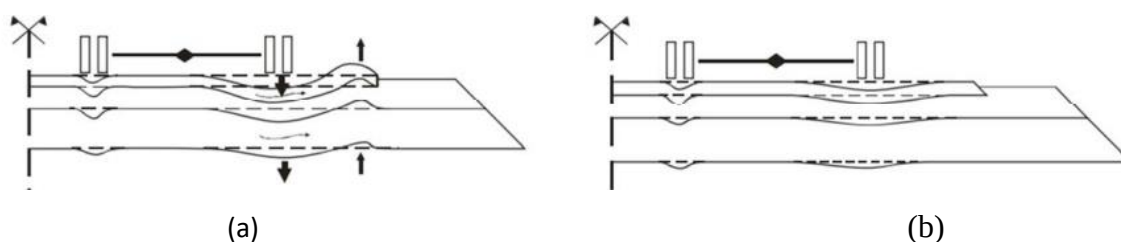
Figura 3 – Trincas e Afundamentos.



Fonte: Norma DNIT 005/03 – TER.

A Figura 4, a seguir mostra a diferença entre os afundamentos plásticos (Figura 4-a) e por consolidação (Figura 4-b).

Figura 4 – Tipos de Afundamentos.



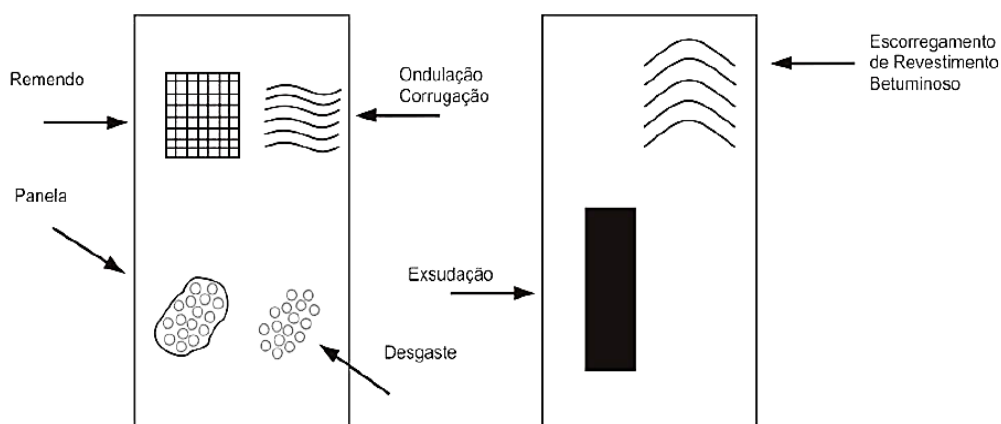
Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos - DNIT (2006).

c) Outros defeitos

Os demais defeitos normatizados pelo DNIT são: exsudação, desgaste, ondulação e corrugação, remendo e panela. A exsudação é o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento. O desgaste consiste no efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

O buraco ou panela é o defeito mais comum nas rodovias brasileiras, é uma cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento e provocar a desagregação destas. Já o remendo, nada mais é que uma panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento, dividido em profundo e superficial. Há o remendo profundo, que é aquele em que ocorre substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. E há o remendo superficial é uma correção da superfície do pavimento em área localizada, através da aplicação de uma camada betuminosa. A Figura 5 mostra todos os defeitos citados anteriormente.

Figura 5 – Outros defeitos.



Fonte: Norma DNIT 005/03 – TER.

Sabe-se que os principais defeitos associados ao excesso de carga no pavimento são as trincas e os afundamentos de trilha de roda (ATR). As trincas em sua maioria são associadas ao fenômeno de fadiga, e estas estão diretamente ligadas às cargas repetidas de tráfego e pela rigidez do ligante asfáltico, que não suporta as solicitações do tráfego pesado sem trincar. As trincas interligadas do tipo “couro de jacaré” são comumente associadas ao excesso de peso e ocorrem em áreas sujeitas à carga repetida de tráfego, por subdimensionamento da estrutura ou de uma de suas camadas, e quando o pavimento está no final de sua vida útil.

As trincas, juntamente de outros defeitos no pavimento asfáltico, podem ser agravar de forma rápida e causar sérios problemas com a ação do intemperismo. Já os afundamentos do tipo ATR podem ser deformações permanentes ocasionadas pelo tráfego intenso de veículos ou pela combinação do excesso de veículos de carga pesada, do tipo de material compactado nas camadas do pavimento e de temperaturas elevadas em regiões mais quente do país.

2.2 TRÁFEGO

O tráfego, entre outros fatores, tem extrema importância no desempenho dos pavimentos, pois dois elementos obtidos a partir dele são levados em consideração: o peso por eixo de roda e o número de vezes que o veículo vai passar pelo trecho a ser pavimentado. Se esses elementos não forem como o previsto em projeto, haverá uma perda significativa da vida útil desse pavimento.

Sabe-se que o pavimento é dimensionado em função das características que compõem e das cargas que o solicita. De forma que quanto maior o tráfego, maior a solicitação, consequentemente, mais resistente o pavimento deve ser. De acordo com Albano (2005), nos métodos de dimensionamento de um pavimento, seja empírico ou mecanístico, o carregamento a ser considerado é o tráfego que se deslocará sobre ele durante sua vida útil. Dessa forma a sua completa caracterização é fundamental para os projetos de pavimentos novos e gerência de pavimentos existentes, com o objetivo de determinar com maior eficiência as intervenções a serem realizadas durante a sua vida útil.

Levando em consideração a grande diversidade de veículos e cargas transportadas, o tráfego se torna um dos fatores mais difíceis de serem previsto e quantificados no processo de dimensionamento do pavimento. Para o dimensionamento são considerados somente veículos comerciais, pois o fator de carga dos demais, carros e motocicletas, são insignificantes para gerar danos ao pavimento.

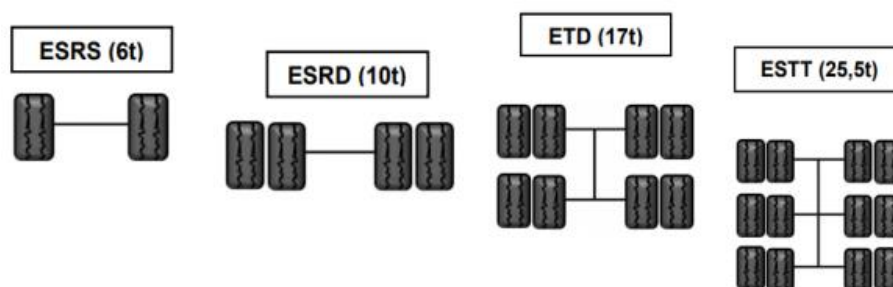
Os veículos comerciais são classificados de acordo com seu eixo e as cargas distribuídas nos diferentes tipos de eixos veiculares. Cada eixo tem um carregamento de carga diferente e é determinado um limite de excesso de peso. Para conseguir quantificar os carregamentos, os diferentes tipos de eixos são posteriormente transformados em eixo padrão simples, que no Brasil é de 8,2 tf ou 80 kN.

Realizando o estudo de tráfego, e determinando o número equivalente de solicitações do eixo padrão ou Número N, é possível quantificar o carregamento a ser considerado no dimensionamento do pavimento.

2.2.1 Tipos de Eixo

Para padronizar, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), estabeleceu diferentes tipos de eixos veiculares e o limite das cargas distribuídas em cada eixo do veículo. Os principais eixos que circulam nas rodovias brasileiras são Eixo Simples de Roda Simples (ESRS), Eixo Simples de Rodas Dupla (ESRD), Eixo Tandem Duplo (ETD) e Eixo Tandem Triplo (ETT). Regulamentado pela Resolução nº 210/06 do CONTRAN, a Figura 6 mostra o limite de carga específico para cada eixo.

Figura 6 – Tipos de eixo e seus limites de carga.



Fonte: Barbosa (2018).

2.2.2 Número N

O Número N, ou número de solicitações do eixo padrão é representado pela repetição de eixos equivalente ao eixo padrão, onde todos os eixos são convertidos no padrão, durante um período de tempo determinado. O eixo padrão é definido por um eixo simples de roda dupla com carga de 8,2 tf ou 80 kN e 80 psi de pressão de inflação.

Os veículos que trafegam pelo pavimento são matematicamente padronizados e convertidos, de acordo com seus eixos, para o equivalente a um eixo padrão. Esse parâmetro

expressa o volume da rodovia, durante o período de tempo de projeto, ou seja, expressa a solicitação de carga que a rodovia irá receber ao longo de sua vida útil.

Para determinar o número N são utilizadas as seguintes variáveis: o período do projeto em anos (P), o volume médio diário de tráfego durante a vida do projeto ($VMDAT$), o fator de veículos (F_v) e o fator climático regional (Fr), determinado pela Equação 1.

$$N = 365 \cdot P \cdot VMDAT \cdot F_v \cdot Fr$$

Equação 1

O Volume Médio Diário ($VMDAT$) é determinado pelo levantamento de tráfego da via e visa determinar a quantidade, sentido e composição do fluxo de veículos que passam por pontos selecionados e definidos previamente de acordo com a rodovia. Em pista duplas ou triplas, o volume médio é calculado com a pista que recebe um maior fluxo de veículos comerciais, de modo a sempre priorizar a pista com o maior número de solicitações para o levantamento.

O Fator Climático Regional (Fr) é definido em função do clima em que relaciona o dimensionamento, de modo que o número N seja ajustado nos diversos climas existentes. Ele é relacionado a possíveis variações de umidade dos materiais do pavimento, que podem resultar na capacidade de suporte dos materiais. Por meio de pesquisas desenvolvidas pelo IPR/DNER, no Brasil se adota $Fr = 1,0$ para todo o país.

Já o Fator de Veículos, é determinado pela transformação de todas as cargas diferentes de tipos de veículos em cargas que sejam equivalentes ao eixo padrão, expressos pelas variáveis: Fator de Eixo (Fe) e Fator de Carga (F_c), conforme a Equação 2.

$$F_v = Fe \cdot F_c$$

Equação 2

O Fator de Eixos é o número que, multiplicado pelo número de veículos, fornece o número de eixos correspondentes. É dado pela Equação 3, através do número total de eixos (n) e do número total de veículos (V_t).

$$Fe = \frac{n}{V_t}$$

Equação 3

O fator de carga é um número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, fornece o número de eixo equivalente ao eixo padrão. Ou seja, o fator de veículos transforma o poder de dano dos eixos dos vários tipos de veículos que compõem o tráfego em dano equivalente ao eixo padrão.

Segundo Réus (2016), o Fator de Carga possibilita o dimensionamento e a previsão do desempenho de pavimentos para o tráfego, considerando toda a gama de veículos que o compõe. Além de ser muito utilizado por diversos autores como medida do desempenho estrutural de pavimentos, com o objetivo de averiguar os efeitos do excesso de carga por eixo causam em sua estrutura.

Os valores de equivalência de carga, segundo DNIT, são expressos pela Equação 4, com variáveis que são obtidos por meio de gráficos, representado pela Figura 7.

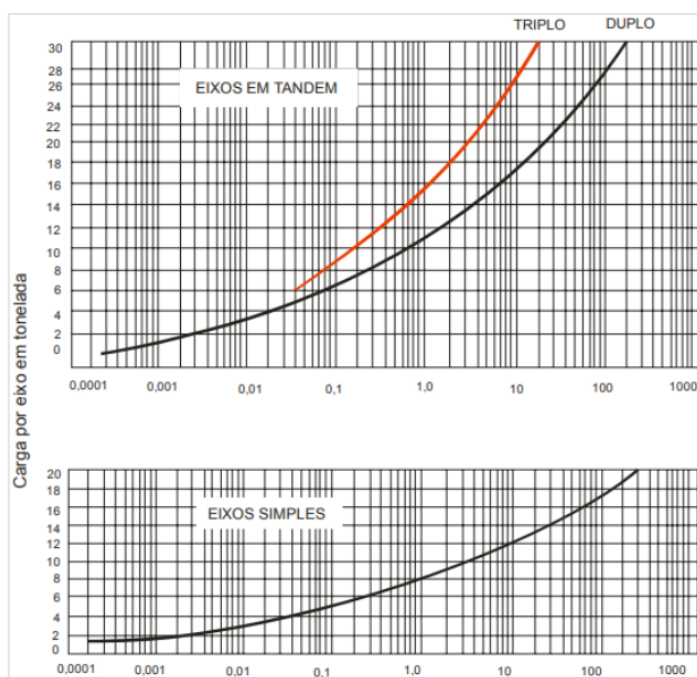
$$Fc = \frac{\sum P_j.Fc_j}{100} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

P_j = Porcentagem de incidência que cada categoria de veículo “j” ocorre na estrada obtido por meio da contagem dos veículos;

Fc_j = Fator de equivalência de operação para cada categoria de veículos “j” que é determinado com o gráfico da Figura 7.

Figura 7 – Curvas de Fatores Equivalência de Operação.



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

2.3 EXCESSO DE PESO

O Peso Bruto Total (PBT) de um veículo, segundo o DNIT, é considerado aquele que é proveniente da somatória da tara e da carga do mesmo, sendo o Peso Bruto Total Combinado (PBTC) resultante da soma de pesos brutos das unidades que compõe o veículo. O limite de carga por eixo, consiste na carga atuante em cada eixo ou grupo de eixos. A Figura 8 exemplifica a diferenças entre PBT, PBTC e Peso por Eixo.

Figura 8 – Diferença entre PBT, PBTC e Peso por Eixo.



Fonte: Adaptado do CNT.

Uma importante colocação deve ser analisada, a tolerância de peso não deve ser vista como um peso adicional que pode ser incorporado à carga, segundo o CNT (2019), ela dá margem de erro ao equipamento de medição, de maneira a não prejudicar o motorista.

O limite de carga por eixo é importante tanto para a vida útil do veículo como para a vida útil do pavimento. Para o veículo, o excesso de carga por eixo causa um grande custo operacional, pois transitar com sobrepeso provoca o desgaste precoce das peças e de equipamentos, gerando um gasto adicional a longo prazo e diminuindo a vida útil dos veículos. Além disso, os danos sofridos comprometem a direção, gerando instabilidade no veículo, aumentando o risco de aquaplanagem com o peso e prejudicando a frenagem. A probabilidade de ocorrer um tombamento é intensificada com o sobrepeso e a má distribuição da carga, pois com a má distribuição o centro de gravidade do veículo é alterado, provocando instabilidade, principalmente com o aumento da velocidade e durante a passagem por curvas acentuadas.

Já para as rodovias, o aumento de carga impacta diretamente na capacidade de carga do pavimento, gerando deformações permanentes e diminuindo sua vida útil, pois o pavimento recebe a carga do veículo que é distribuída pelo eixo para os pneus gerando impacto no pavimento e nas obras de arte rodoviárias. Com as degradações do pavimento devido ao excesso

de carga, a má qualidade do pavimento, pode resultar em perdas e danos às mercadorias transportadas devido a trepidações e aumento no tempo de viagem.

2.3.1 Legislação regulamentadora

Em 1960, a regulamentação de cargas por eixo no Brasil foi introduzida pelo Estado de São Paulo, que introduziu lei sobre o peso bruto dos veículos. Em 1961, o governo Federal baixou um decreto federal no 50.903/61, que tratava exclusivamente dos limites de cargas por eixo, surgindo então a “lei da balança”. Não se previu, no entanto, qualquer multa ou punição para os infratores, e somente sete anos depois, em 1968, o Decreto Federal foi incorporado pelo Decreto no 62.127/68, que regulamentou a Lei no 5.108/66, que modificava o Código Nacional de Trânsito.

A Lei no 7.408/85 introduziu tolerância de 5% no peso por eixo e no peso bruto total na pesagem dos veículos de carga. A partir dessa data se manteve a tolerância para PBT e PBTC, e houve três aumentos de excesso de peso por eixo. O primeiro, em 1999 pela Resolução de 104/99 do CONTRAN, aumentou de 5% para 7,5% a tolerância por eixo. O segundo aumentou de 7,5% para 10%, pela Resolução 489/14 do CONTRAN. E o mais recente, aumenta novamente 2,5% pela terceira vez o limite de excesso de peso, onde sobe de 10 % para 12,5 % a tolerância de excesso de peso por eixo, através da Lei nº 14.229/21.

O Quadro 2 mostra o limite de carga de cada eixo, o limite anterior e o limite após a medida provisória atualizando a tolerância de peso por eixo dos veículos de carga que trafegam nas rodovias brasileiras.

Quadro 2 – Limite máximo permitido e pesos permitidos com as tolerâncias de 10% e 12,5%.

Tipo de Eixo	Peso Máximo Permitido (t)	Peso permitido com tolerância de 10% (t)	Peso permitido com tolerância de 12,5% (t)
ESRS	6,00	6,60	6,75
ESRD	10,00	11,00	11,25
ETD	17,00	18,70	19,13
ESTT	25,50	28,05	28,69

Fonte: Autora.

2.3.2 Danos com o excesso de peso do pavimento

Segundo Albano (2005) não se tem conhecimento de estudos técnicos que embasem as tolerâncias adotadas nas regulamentações brasileiras, sendo exposto apenas que as mesmas existem com o intuito de compensar incertezas de medição nos equipamentos de aferição de

peso, conforme exposto nas próprias resoluções do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

Bernucci e Santos (2013) mostram que um eixo simples de roda dupla (ESRD) trafegando com 5% de excesso de carga, acima da carga máxima legal (10 toneladas), leva a um dano 22% maior ao pavimento; quando o excesso é de 10%, esse dano passa a ser 46% maior; e quando esse excesso é de 20%, o dano passa a ser 107% maior que o ESRD na carga máxima legal.

Schmitt (2015) realizou um estudo sobre o impacto gerado pelo aumento de 7,5% para 10% do peso bruto por eixo sobre a vida útil do pavimento, através de uma comparação empírica e empírica mecanicista no dimensionamento do pavimento com o aumento de carga. No estudo, a espessura do pavimento aumento cerca de 15%, pois para suportar o aumento de 10% da carga de peso bruto por eixo a espessura do pavimento deveria ser maior para resistir mais ao impacto gerado. Com isso, foi constatado no estudo que a mudança nos limites de tolerância afetaria o pavimento, podendo ser uma das causas para a durabilidade reduzida das estradas brasileiras.

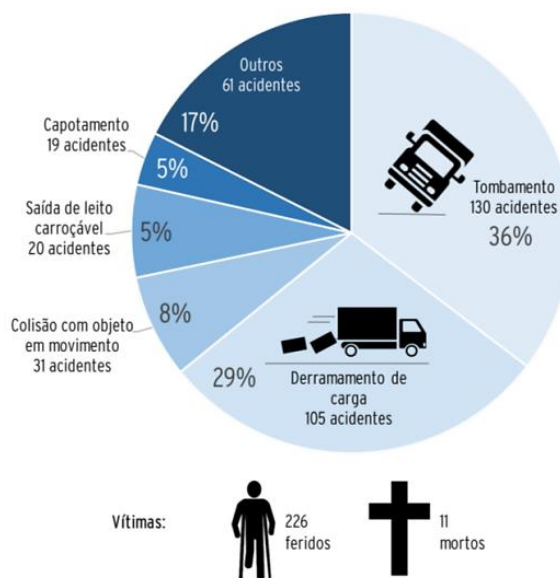
Bock (2016) estimou que a influência do limite da tolerância de carga nos eixos de 10% reduziu a vida útil do pavimento em cerca de 15%, em sua pesquisa por volta de 14 meses, considerando o limite estabelecido de trincamento por fadiga do revestimento asfáltico, e de 14%, estimado em 11 meses na pesquisa, em relação à deformação permanente total do pavimento e 6%, equivalente a 5 meses na pesquisa, quanto ao limite de irregularidade. Já Barbosa (2018), aproximou a diminuição na vida útil do pavimento em torno de 5 anos, como o aumento da tolerância para 10%, baseando-se no cálculo de Fator de Cargas.

2.3.3 Acidentes rodoviários versus o excesso de carga dos veículos

O número de acidentes ocasionados pela o excesso de peso foi uma problemática a ser discutida, nas rodovias federais em 2018, foram registrados 382 acidentes por causa da carga excessiva e/ou mal distribuídas, o CNT elaborou um gráfico, indicado na Figura 9, a partir de dados da Polícia Rodoviária Federal do mesmo ano, com o número de acidente causado por carga excessiva e/ou mal acondicionada, por tipo.

O estudo mostrou que 65% dos acidentes estão ligados ao tombamento do veículo e ao derramamento de carga, e que cerca de 5% das pessoas envolvidas nesses acidentes registrados por causa do excesso de carga vieram a óbito.

Figura 9 – Gráfico do número de acidentes causados por carga excessiva e/ou mal adicionada por tipo em 2018.



Fonte: CNT (2019).

Ghisolfi (2018) aponta que a prática do excesso de peso por eixo aumenta a produtividade e os lucros da indústria do transporte com o aumento da carga transportada, porém à medida que o percentual de excesso de peso aumenta, os custos sociais envolvidos, como a manutenção de pavimentos e os acidentes rodoviários, também aumenta. Em outras palavras, a rápida degradação dos pavimentos, o aumento de gastos na manutenção rodoviária, além das inseguranças causadas pelo aumento dos acidentes são consequências do aumento da produtividade e do lucro da indústria do transporte.

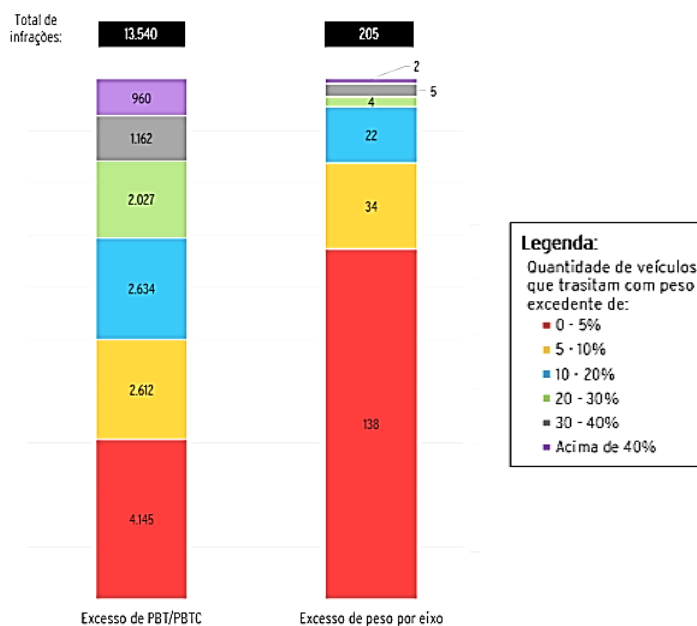
2.3.4 Fiscalização e multas

A fiscalização do excesso de cargas é realizada em postos de fiscalização federal, estadual e municipal, em que o excesso de peso é aferido por equipamento de pesagem ou pela verificação de documento fiscal, na forma estabelecida pelo CONTRAN.

Fontenele *et al* (2011) e Costa *et al* (2021) avaliaram em suas pesquisas que o tráfego de veículos com excesso de peso reduz significativamente, com a presença de uma fiscalização operante e sem papel apenas estatístico, indicando que a fiscalização da sobrecarga nos veículos tem um papel fundamental para o controle do excesso de peso nas rodovias brasileiras e na vida útil das mesmas.

A Figura 10 apresenta um gráfico elaborado pelo CNT (2019) que mostra dados da Polícia Federal em 2018, o qual apresenta a distribuição de infrações por faixa de peso excedente, com o objetivo de analisar o comportamento dos motoristas multados.

Figura 10 – Gráfico de distribuição de infrações, por excesso de PBT/PBTC e por eixo, com número de infrações e porcentagem de peso excedente.



Fonte: Adaptado CNT (2019).

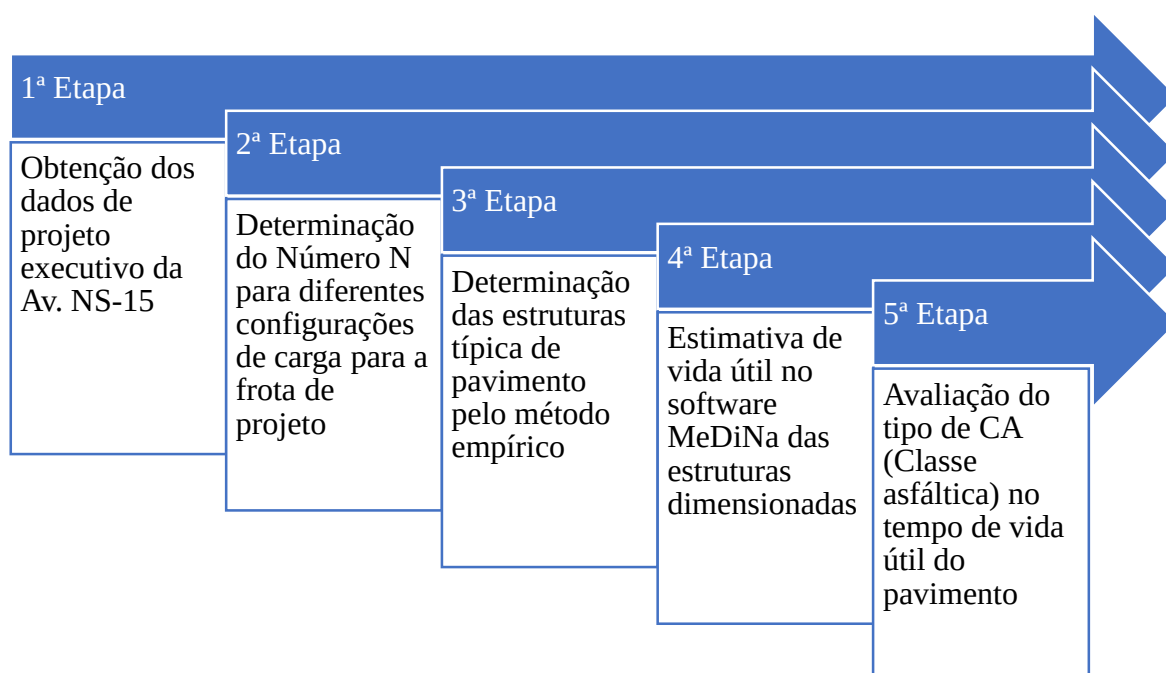
O gráfico mostra que das 13.540 multas por excesso de PBT/PBTC, 4.145 foram autuados até 5,0% a mais que o limite permitido, cerca de 30,6%. Já por excesso de peso por eixo, as infrações cometidas até 5,0% a mais do limite de peso permitido, correspondem a 67,3% do total de multas.

A análise realizada aponta que com a porcentagem do excesso de peso por eixo levantado pelos dados obtidos, pode significar que o excesso de peso pode não ser proposital na maioria das vezes pela dificuldade em não ter uma balança para a carga que vão transportar. Alves *et al* (2020), constataram que os autos de infração por excesso de peso somente em eixos foram correspondentes a 76,37% do total de infrações lavradas pela ANTT.

3 METODOLOGIA

Neste item estão apresentadas as atividades que foram desenvolvidas para realização do trabalho, mediante aos dados de projeto na Avenida NS-15. Assim, foram traçadas estratégias metodológicas divididas em cinco etapas para dar subsídio à conclusão da grande problemática de estudo, conforme fluxograma apresentado a seguir (Figura 11).

Figura 11 – Fluxograma de atividades da pesquisa.



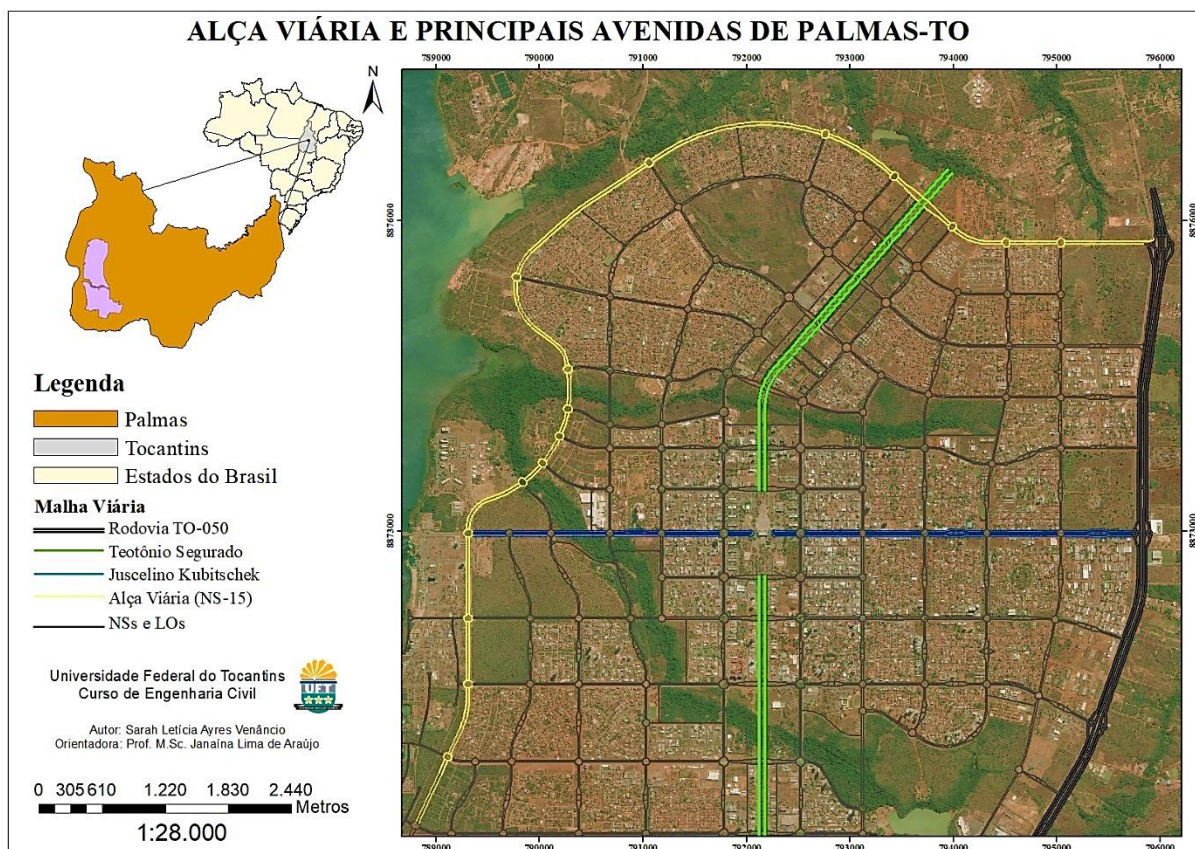
Fonte: Autora.

3.1 AVALIAÇÃO DO PROJETO DA NS-15 - 1ª ETAPA

Em 2015, foi realizado o projeto e execução da Pavimentação e Restauração do Pavimento Asfáltico em parte das Avenidas NS-15 e LO-13 em Palmas – TO, o projeto também previa a sinalização viária, passeio com acessibilidade, drenagem de Águas Pluviais com Obras Complementares que ainda não foram concluídas.

Conforme apresentado na Figura 12, a Avenida NS-15 tem como característica ser uma alça viária para desviar o tráfego de caminhões do centro de Palmas, bem como acesso aos campi da Universidade Federal do Tocantins (UFT) e da Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS), e acesso as praias da região central da capital.

Figura 12 – Alça Viária e Avenidas de Palmas.



Fonte: Venâncio (2019)

Para desenvolvimento deste estudo foi utilizado os dados da execução do projeto de pavimentação asfáltico da Avenida NS-15, sendo uma via de pista dupla, composta por 3 faixas de trânsito de 3,5m de largura e canteiro central de 5m entre os diferentes sentidos de fluxos, e velocidade diretriz de 60km/h.

3.1.1 Estudo de Tráfego

Para dar início a realização da 1ª etapa e obtenção dos dados foi realizado uma análise buscando no projeto executivo da AV. NS-15 a metodologia adotada nas contagens volumétricas e classificatórias com o objetivo de se determinar os seguintes dados:

- Ano da realização do estudo de tráfego;
- Contagem volumétrica e classificatória realizada;
- Análise da taxa de crescimento anual considerada em projeto;
- Ano de abertura e tempo de vida útil para cálculo do número N;
- Fatores adotados para cálculo do Número N;

- Verificação da existência da pesquisa de ocupação de tráfego para determinação das cargas atuantes (vazios, máximo legal, excesso) utilizado em projeto;
- Metodologia utilizada em projeto para cálculo do Fator de Carga por eixo.

Com estes dados foi possível realizar a determinação dos Números N com diferentes distribuições das cargas atuantes (vazia, carga legal e excesso de peso por eixo) para avaliação da influência do excesso de peso por eixo no pavimento. Além disso, foi realizada a análise dos dados adotados em projeto em conformidade com as normativas e recomendações vigentes no país.

3.1.2 Estudo Geotécnico

Dando continuidade a realização da 1ª etapa e obtenção dos dados, foi feito estudo buscando no projeto executivo da Avenida NS-15, os principais parâmetros do solo de subleito, bem como dos materiais que irão compor o pavimento em projeto, tais como:

- Caracterização do solo de subleito e definição do Índice de suporte de projeto;
- Caracterização das ocorrências de materiais para pavimentação, principalmente estudo dos materiais que foram destinados para compor a base e a sub-base da estrutura do pavimento da Avenida NS-15.

Ressalta-se que foram analisados nessa etapa, os estudos laboratoriais de solo realizados em projeto, buscando todas as informações necessárias, tais como os ensaios:

- Ensaio de Granulometria por peneiramento com lavagem do material na peneira de 2mm e de 0,075mm (DNER-ME 041/94, DNER-ME 051/94, DNER-ME 080/94);
- Limite de liquidez (DNER-ME 122/94) e Limite de plasticidade (DNER-ME 082/94);
- Teor de umidade natural (DNER-ME 213/94);
- Massa específica aparente in situ (DNER-ME 093/94);
- Compactação (DNER-ME 129/94); observando as curvas de compactação (determinadas com pelo menos cinco pontos), bem como se as energias usadas em conforme normativo, tal como ensaio na energia Proctor Normal (12 golpes) para solo do subleito, e ainda nos solos de ocorrência para pavimentação (no Proctor Intermediário – 26 golpes para Sub-base e, no Proctor Modificado – 55 golpes para Base);
- Índice de Suporte Califórnia e Expansão (DNER-ME 049/94).

Esses ensaios são essenciais para caracterizar os materiais e garantir que eles estejam de acordo com o que o método vigente exige para que o pavimento não sofra ruptura precoce. Segundo o Método CBR, os materiais devem atender as seguintes especificações para as camadas do pavimento:

- Subleito: $\text{CBR} \geq 2\%$ e $\text{Expansão} \leq 2\%$;
- Reforço do Subleito: CBR maior que o do subleito e $\text{Expansão} \leq 1\%$;
- Sub-base: $\text{CBR} \geq 20\%$, Índice de Grupo (IG) = 0 e $\text{Expansão} \leq 1\%$;
- Base: $\text{CBR} \geq 80\%$, $\text{Expansão} \leq 0,5\%$, Limite de Liquidez (LL) ≤ 25 , Índice de Plasticidade (IP) $\leq 1\%$;

Esses dados foram utilizados para caracterização dos materiais utilizados no projeto para realização da análise do pavimento pelo método mecanístico-empírico MeDiNa. Para a análise realizado no programa MeDiNa, são necessários parâmetros que não constam no projeto executivo da Avenida NS-15, como o Módulo de Resiliência, Coeficiente de Poisson e Deformação Permanente dos materiais. Desse modo, foi adotado valores da literatura que se assemelham com os matérias definidos no projeto.

3.1.3 Projeto de Pavimentação

Para finalizar a 1ª etapa metodológica para obtenção dos dados de projeto, foram analisadas as premissas utilizadas para elaboração do projeto de pavimentação, bem como o método de dimensionamento utilizado e principalmente a definição da estrutura determinada para projeto executivo e tempo de vida útil considerado.

3.2 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N – 2ª ETAPA

Pensando em avaliar o impacto da alteração na tolerância de carga por eixo, na estimativa do número de solicitações de eixo padrão, ou seja, o Número N de projeto da via NS-15, nesta 2ª etapa da pesquisa foi realizada a determinação de sete Números N, cada um levará em consideração um Fator de Veículo de frota circulante, considerando diferentes distribuições e porcentagem de cargas atuantes (vazios, máximo legal, excesso) para composição da frota, conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 3 – Distribuição das cargas atuantes por eixo (vazios, máxima legal, excesso).

Determinação	Distribuição das cargas atuantes por eixo
Número N ₁	100% veículos trafegam na carga legal
Número N ₂	20% vazios + 40 % veículos trafegam na carga legal + 40% veículos trafegam na carga do eixo 5% acima da carga legal
Número N ₃	20% vazios + 40% veículos trafegam na carga legal + 40% veículos trafegam na carga do eixo 10% acima da carga legal
Número N ₄	20% vazios + 40% veículos trafegam na carga legal + 40% veículos trafegam na carga do eixo 12,5% acima da carga legal
Número N ₅	20% vazios + 80% veículos trafegam na carga legal
Número N ₆	20% vazios + 80% veículos trafegam na carga do eixo 10% acima da carga legal
Número N ₇	20% vazios + 80% veículos trafegam na carga do eixo 12,5% acima da carga legal
Número N _{NS-15}	20% vazios + 80% veículos trafegam na carga do eixo 5% acima da carga legal

Fonte: Autora.

As distribuições foram adotadas de forma arbitrária para analisar a influência do comportamento do excesso de peso por eixo na configuração do Número N e na vida útil do pavimento. Ressalta-se que os demais fatores para o cálculo dos Números N, bem como a taxa de crescimento anual aqui adotado na pesquisa, foram os mesmos utilizados no projeto original da Avenida NS-15.

3.3 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO EMPÍRICO DAS ESTRUTURAS DO PAVIMENTO – 3ª ETAPA

A terceira etapa metodológica da pesquisa tem como objetivo a determinação das estruturas típica de pavimento flexível pelo método empírico para os diversos Números N determinados na etapa anterior.

Foi realizado e apresentado o cálculo do dimensionamento do pavimento em conformidade com o Método do DNIT, calculada separadamente para cada intensidade de tráfego definida na etapa anterior.

A espessura da camada do revestimento é determinada com base no Quadro 4 que estabelece as espessuras mínimas de revestimentos betuminosos.

Quadro 4 – Espessura mínima de revestimento betuminoso.

Parâmetro de Tráfego	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento Superficiais Betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento Betuminoso com 5,0 cm
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto Betuminoso com 7,5 cm
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso com 10,0 cm
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso com 12,5 cm

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos - DNIT (2006).

Na determinação da espessura total do pavimento, Balbo (2007) propõe a Equação 5 como solução do dimensionamento. O dimensionamento da base e da sub-base são realizadas de acordo com a

$$Heq = 77,67 \times N^{0,482} \times CBR^{-0,598} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

Heq: Espessura equivalente em cm;

N: Número de repetições de carga de um eixo padrão;

CBR: Valor do CBR do Subleito.

$$R \times Kr + B \times Kb \geq h_{20} \quad \text{Inequação 1}$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h_{20} \times K_s \geq H_m \quad \text{Inequação 2}$$

Onde:

Kr, Kb, Ks: São os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais do pavimento;

R, B, h₂₀: São os valores das espessuras das camadas de revestimento, base e sub-base, respectivamente;

H₂₀, H_m: São os valores das espessuras das camadas equivalentes, sobre a sub-base, e subleito.

Para a determinação do cálculo das espessuras das camadas é utilizada a aplicação do Coeficiente de Equivalência Estrutural (K), tendo como base que esse é um número que relaciona a espessura necessária da camada constituída de material padrão com a espessura equivalente da camada constituída com o material que a irá compor de fato. A partir de composição dos materiais utilizados, a tabela 3 demonstra os Coeficientes de equivalência estrutural de equivalência estrutural (K) para cada tipo de camada.

Quadro 5– Coeficientes de Equivalência Estrutural.

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

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

No dimensionamento elaborado pelo DNER (1981), o CBR da sub-base deve ser no mínimo igual a 20, pois considera-se que a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se fosse 20.

Ressalta-se que o dimensionamento foi realizado de conforme o Método CBR, utilizando as premissas adotadas no projeto executivo da Avenida NS-15.

A partir da definição das sete estruturas típicas dimensionadas foi possível avaliar o impacto do aumento da tolerância de carga por eixo na estrutura do pavimento quando este dimensionado pelo método empírico ainda vigente no país.

3.4 ESTIMATIVA DO TEMPO DE VIDA ÚTIL UTILIZANDO SOFTWARE MEDINA – 4ª ETAPA

O atual método empírico de dimensionamento vigente no Brasil não considera o efeito das deformações resilientes no comportamento mecânico dos materiais utilizados na pavimentação. Porém, é essa deformabilidade resiliente ou elástica das camadas do pavimento

e do subleito que condiciona a vida útil da estrutura como um todo, quando solicitadas por flexões sucessivas, podendo ocasionar um dos principais defeitos recorrentes em rodovias brasileiras: a ocorrência de trincas por fadiga.

Pensando nisso, o DNIT apresenta um novo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) que foi desenvolvido a partir do Termo de Execução Descentralizada, centrada pelo IPR e pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, bem como da colaboração do Centro de Pesquisa da Petrobrás – CENPES e de diversas universidades.

Segundo o Pitangui (2019) o MeDiNa é um programa computacional com o cálculo analítico baseado na teoria modelado por Burmister, em que se permite considerar múltiplos carregamentos, pode meio do princípio da sobreposição. Além disso, o MeDiNa tem como objetivo, o projeto empírico-mecanicista de estrutura do pavimento, combinando uma análise estrutural com análise elástica em multicamadas, com modelo de ruptura obtidos de ensaios laboratoriais e calibrados com dados de campo de forma empírica.

Sabe-se que para uma análise de uma estrutura de pavimento ou mesmo o seu dimensionamento requer um conjunto amplo de informações para que os resultados obtidos sejam confiáveis, principalmente quando este é baseado no método dimensionamento mecanístico-empírico. Essas informações passam pelo conhecimento do subleito na determinação do seu módulo de resiliência, da curva de deformação permanente do solo obtida em laboratório, visto que se trata de uma variável existente, e como qualquer fundação.

Além do subleito, todos os materiais naturais disponíveis para utilização em bases, sub-bases e reforço do subleito, provenientes de jazidas, pedreiras ou areais, também devem ser muito bem conhecidos e suas propriedades de módulo e de deformação permanente também devem ser obtidas com ensaios laboratoriais.

Já os materiais a serem produzidos em usinas ou centrais podem ser definidos pelo projetista, porém o mesmo deve estabelecer os parâmetros de módulo de resiliência e a vida de fadiga da mistura asfálticas proposta, por exemplo. Nesse caso, o programa pré-estabelece parâmetros mínimos que devem ser exigidos, quando da execução da obra.

No MODO de “Pavimento novo” do programa é possível realizar dois tipos de apreciação, ou seja, pode-se apenas fazer uma análise de como uma estrutura se comporta, com base nos dados lançados, ou o dimensionar do pavimento de fato a partir de uma camada escolhida. No primeiro caso, o programa realiza os cálculos e verifica os critérios de área trincada e/ou deformação permanente, sem alterar a espessura da camada marcada, apresentando um resumo a ser avaliado pelo projetista. Já no segundo caso, marcando a camada

que se deseja dimensionar, o programa fornece qual espessura da camada necessária para o projeto. A Figura 13 mostra tela inicial do software, já no MODO de dimensionamento de um novo pavimento.

Na tela inicial do programa, na parte central da Figura 13, é possível alterar a estrutura adicionando camadas ao pavimento ou modificando tipo do material ou a espessura. Além disso, o programa traz a possibilidade de adicionar um novo tipo de material, introduzindo as características desejadas.

Outra informação que é chave para o correto funcionamento do programa MeDiNa é a definição do Número Equivalente de Eixos, o número N. Os modelos utilizados no programa MeDiNa se mostram sensíveis a pequenas variações do Número N e, portanto, uma estimativa apurada é de grande importância para o sucesso do projeto.

Figura 13 – Tela Inicial do software MeDiNa.

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: Bianca Laet EMPRESA: Fundação Universidade Federal do Tocantins

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc MODO: Pavimento Novo (Nível A)

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	10,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaise C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	20,0	250	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1,000
N anual (1º ano):	5,00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5,00e+05
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,00e+06

Projeto novo NÍVEL <A>

Fonte: Autora.

O programa oferece a possibilidade, no canto inferior esquerdo da Figura 13, de inserir diretamente o Número N anual, ou por meio da introdução dos dados de Volume Médio Diário do 1º ano, taxa de crescimento e do Fator Veículo (FV), este FV por sua vez, pode ser calculado considerando a distribuição das cargas atuante por eixo como demonstrado na Figura 14. A

Figura 15 – Avaliação da evolução mensal dos danos na estrutura.

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

Danos Mensais ATR Bacias de campo Completo

Mês	N equiv	ÁREA TRINCADA (%)	ATR (mm)
69	7,883e+06	28,33%	10,34
70	8,000e+06	28,96%	10,35
71	8,118e+06	29,59%	10,36
72	8,236e+06	30,23%	10,37
73	8,354e+06	30,88%	10,38
74	8,472e+06	31,53%	10,38
75	8,590e+06	32,19%	10,39
76	8,708e+06	32,85%	10,40
77	8,826e+06	33,52%	10,41
78	8,945e+06	34,20%	10,42
79	9,063e+06	34,88%	10,43
80	9,182e+06	35,57%	10,44
81	9,300e+06	36,26%	10,44
82	9,419e+06	36,96%	10,45
83	9,538e+06	37,66%	10,46
84	9,657e+06	38,37%	10,47
85	9,776e+06	39,09%	10,48
86	9,895e+06	39,80%	10,48
87	1,001e+07	40,52%	10,49
88	1,013e+07	41,25%	10,50
89	1,025e+07	41,98%	10,51
90	1,037e+07	42,71%	10,51
91	1,049e+07	43,45%	10,52
92	1,061e+07	44,19%	10,53
93	1,073e+07	44,93%	10,54
94	1,085e+07	45,67%	10,54
95	1,097e+07	46,42%	10,55
96	1,109e+07	47,17%	10,56
97	1,121e+07	47,93%	10,56
98	1,133e+07	48,68%	10,57
99	1,145e+07	49,44%	10,58
100	1,157e+07	50,20%	10,58

C:\Users\jana_OneDrive\Documents\2020.1 - Ja...\Bianca NS 15.pvt NÍVEL <A>

Fonte: Autora.

3.5 AVALIAÇÃO DO TIPO DE CA NO TEMPO DE VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO – 5ª ETAPA

Com a implantação do novo Método de Dimensionamento Nacional do DNIT, por meio do programa MeDiNa, uma grande evolução no meio rodoviário que este método traz é especificação e a obrigatoriedade dos estudos laboratoriais das misturas asfálticas em fase de projeto, tais como a determinação de parâmetros de Módulo de Resiliência, curva de fadiga e *Flow Number*, por exemplo.

O módulo de resiliência das camadas asfálticas é considerado como Elástico Linear e deve ser obtido conforme descrito no método de ensaio DNIT 135/2018-ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência. As características da mistura como faixa granulométrica, teor de CAP, volume de vazios, abrasão Los Angeles, são lançadas pelo projetista de forma que elas possam ser controladas ao longo da sua execução no campo. E além do MR, a curva de fadiga das misturas asfálticas é de suma importância e deve ser obtida a partir do ensaio DNIT 183/2018-ME: Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga

por compressão diametral à tensão controlada. Isso porque, os fatores críticos do dimensionamento estão relacionados à qualidade dos materiais asfálticos.

E sabendo da dificuldade de se realizar um projeto com os dados completos da mistura que poderá ser obtida no campo, o programa MeDiNa apresenta uma forma de selecionar tipos de misturas asfálticas com base nos valores de Módulo e de Desempenho à Fadiga diferenciados por Classes de Fadiga que foram separadas conforme a seguir:

- As misturas que não atingiram $4,5 \times 10^6$ repetições do eixo padrão, não serviriam para aplicação de campo, por trincarem muito rapidamente.
- As misturas Classe 1 foram as que atenderam entre $4,5 \times 10^6$ e $6,0 \times 10^6$ repetições do eixo padrão.
- As misturas Classe 2 foram as que atenderam entre $6,0 \times 10^6$ e $7,5 \times 10^6$ repetições do eixo padrão.
- As misturas Classe 3 foram as que atenderam entre $7,5 \times 10^6$ e $1,0 \times 10^7$ repetições do eixo padrão.
- As misturas Classe 4 foram as que atenderam mais que $1,0 \times 10^7$ repetições do eixo padrão.

Dito isso, a 5ª e última etapa metodológica deste estudo, compreendeu em avaliar a influência do tipo de mistura asfáltica na vida útil do pavimento para os tráfegos gerados com as diferentes combinações de excesso de carga por eixo. Sendo então, realizada análise das estruturas com modificando o tipo de material por meio da alteração da Classe de Fadiga, porém com a mesma espessura dimensionada pelo método empírico CBR.

4 RESULTADOS

4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PROJETO EXECUTIVO

4.1.1 Estudo de Tráfego

No projeto executivo da Avenida NS-15, consta que foi utilizado a contagem volumétrica e classificatória de tráfego da rodovia TO-010, do Departamento de Estradas e Rodagem do Tocantins (DERTINS) realizada em 2014. Foi adotada uma taxa de crescimento anual de 1% até o ano de abertura da via para o ano de 2015, assim como para o período de projeto do pavimento de 10 anos.

De acordo com o estudo, o projeto seguiu as normas do DERTINS, porém não foram apresentadas justificativas técnicas para a adoção da taxa de crescimento anual utilizada. Segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006, p. 234), “tem sido comum adotar, à falta de informações de variáveis socioeconômicas, uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo”. No ano anterior a esta publicação, a taxa de crescimento econômico do Brasil foi de 3,2%, dessa forma, o valor de crescimento anual de 1% pode ter sido adotado de acordo com a taxa de crescimento econômico do país de 2014, que foi de 0,5%.

Para o cálculo do Número N, o cálculo se deu por meio da fórmula preconizada pelo DNIT, e desenvolvida pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza. No cálculo do Fator de Carga (FC) por eixo, foi utilizado o preconizado pela USACE, e a distribuição da frota com relação a ocupação de carga foi utilizado uma ocupação de tráfego com 20% dos veículos com a condição da carga vazia e 80% dos veículos com excedente de 5% da carga legal por eixo. De acordo com o estudo, não houve a justificativa técnica para definição da distribuição de cargas, que difere do disposto no Manual de Estudo de Tráfego do DNIT, no qual prevê que todo estudo de tráfego deve conter um estudo de ocupação de carga para definição da configuração do carregamento da frota, ou seja, da distribuição de carga dos veículos rodantes no pavimento.

O valor adotado para a carga carregada é similar ao da tolerância do PBT/PBTC, com excedente de 5%, não considerando o excedente de peso por eixo, que desde 1999 é maior que 5% da carga legal. No ano do projeto a tolerância vigente era de 10%, segundo a Resolução 489/14 do CONTRAN, o fato de não se considerar o excedente de carga por eixo, minora o número N de projeto, visto que no dimensionamento não será considerado o excedente que trafegará na via, diminuindo consequentemente a sua vida útil.

No projeto foi adotado o Fator de Veículo, calculado pelo Método USACE, e o valor encontrado foi de 5,9623. Foi adotado ainda, o fator regional igual a 1,0, valor utilizado no território brasileiro de acordo com os resultados de pesquisas desenvolvidas no IPR/DNER, e o Fator de Pista de 0,4, considerando que a pista em questão é duplicada.

Com isso, o valor o Número N determinado em projeto para o ano de 2025, 11º ano de vida útil do pavimento, visto que o ano de abertura de 2015 é o 1º ano de vida útil do pavimento, para Avenida NS-15 foi de $1,55 \times 10^7$ de solicitações do eixo padrão rodoviário.

Em resumo, os valores adotados e determinados no estudo de tráfego foram:

- Taxa de crescimento: 1% ao ano;
- Ano de Abertura: 2015;
- Período de Projeto: 10 anos;
- Ocupação de Tráfego: 20% de carga vazia e 80% de carga legal com excedente de 5%;
- Fator de Veículo: 5,9623;
- Fator de Pista: 0,4;
- Número N para o período final de vida útil: $1,55 \times 10^7$.

4.1.2 Estudo Geotécnico

Os ensaios realizados em projeto foram os ensaios já mencionados no item 3.1.3. As características médias do subleito da via estão descritas na Tabela 1. Foram realizados ensaios de compactação em 78 pontos com energia Proctor Normal (12 golpes) e 18 pontos com energia Proctor Intermediário (26 golpes), os resumos dos ensaios do projeto estão no Anexo A.

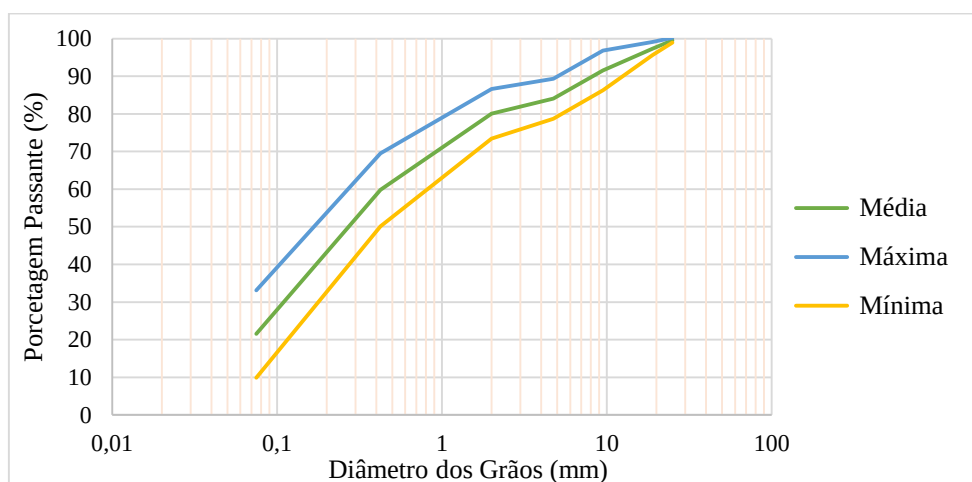
Tabela 1 – Resumo dos Ensaios do Subleito da Avenida NS-15.

Características		Valor Médio	
		Energia Proctor NORMAL	Energia Proctor INTERMEDIÁRIO
Compactação e ISC	$\rho_{d\text{ máx}}$ (g/cm³)	1,175	1,984
	Umidade Ótima (%)	10,09	8,60
	Expansão (%)	0,025	0,047
	ISC (%)	13,50	45,95
Densidade “In Situ” (g/cm³)		1,60	
Classificação H.R.B.		A-2-4 / A-2-6	
Limite de Liquidez (%)		35,67	
Índice de Plasticidade (%)		12,9	

Fonte: Adaptado do Projeto Executivo de Engenharia do Trecho da Avenida NS-15 e LO-13 – Volume 3B.

Pela curva granulométrica do subleito (Figura 16) e os dados da tabela anterior, é possível a análise do solo do subleito como um solo de granulação grossa, arenoso, mal graduado. Ele foi classificado como A-2-4 e A-2-6, na classificação H.R.B., que classifica os solos de acordo com a granulometria, o limite de liquidez, o índice de plasticidade e o índice de grupo. Os grupos A-2-4 e A-2-6 são constituídos por pedregulho ou areias siltosas ou argilosas, com um comportamento de excelente a bom como subleito, segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Figura 16 – Curva Granulométrica do Subleito.



Fonte: Adaptado do Projeto Executivo de Engenharia do Trecho da Avenida NS-15 e LO-13 – Volume 3B.

No estudo geotécnico dos materiais para pavimentação, base e sub-base, além dos ensaios laboratoriais para a Jazida 01 e a Jazida 02, situadas a uma distância de 16,46 Km e 13,63 Km da Estaca “0”, estacionada na Avenida JK em Palmas. Foram realizados ensaios para os solos das jazidas melhorados com cimento, com o acréscimo de 2% e 3% de cimento. A Tabela 2 apresenta o resumo dos ensaios realizados para a escolha da base e sub-base.

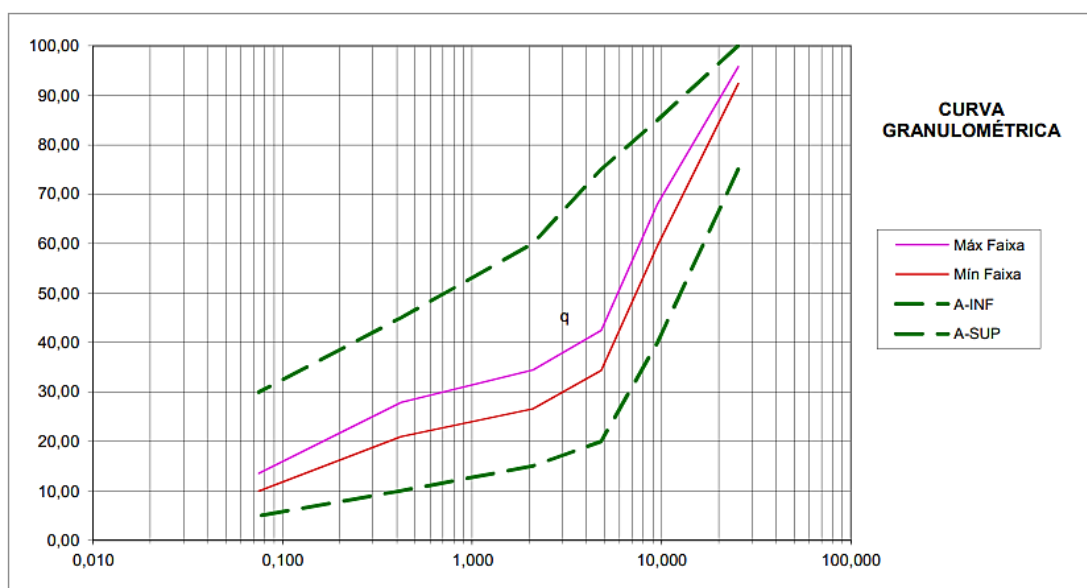
No projeto foi adotado o material das Jazidas 01 e 02 sem mistura, com estabilização granulométrica. De acordo com o projeto executivo, as jazidas atendem as condições mínimas especificadas pelo DERTINS e foi utilizada a Jazida 02 para a base, e a Jazida 01 para sub-base. As curvas granulométricas da Jazida 01 e 02 se enquadram na faixa A, satisfazendo a composição granulométrica para utilização como base do pavimento de acordo com o Número N, fundamentada pela norma DNIT 141/2010 – ES, como apresentada na Figura 17 e na Figura 18, respectivamente.

Tabela 2 – Resumo dos ensaios do material para base e sub-base da Avenida NS-15.

Características	Jazida 1			Jazida 2		
	Sem Mistura	+ 2% de Cimento	+3 % de Cimento	Sem Mistura	+ 2% de Cimento	+2 % de Cimento
Faixa Granulométrica	A					
Classificação H.R.B.	A-1-A					
LP (%)	NL	NL	NL	NL	NL	NL
IP (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Energia Proctor	Modificada	Intermediária		Modificada	Intermediária	
$\rho_{d\text{ máx}}$ (g/cm³)	2,009	1,892	1,903	2,126	1,979	1,980
Umidade Ótima (%)	10,37	10,80	11,04	10,21	10,06	10,70
Expansão (%)	0	0	0	0	0	0
I.S.C. (%)	63,63	112,44	123,36	73,55	114,59	121,04

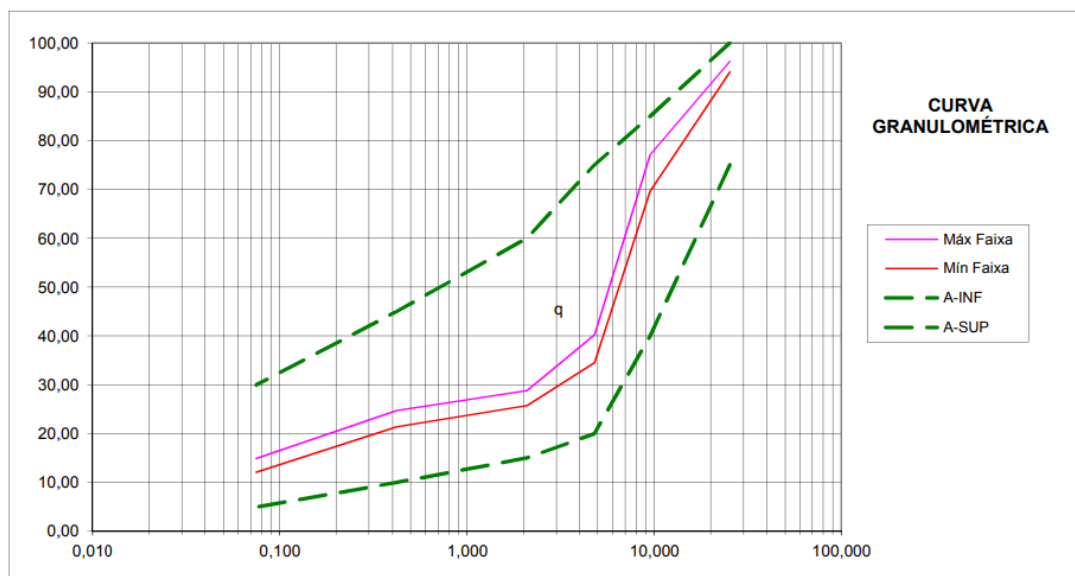
Fonte: Adaptado do Projeto Executivo de Engenharia do Trecho da Avenida NS-15 e LO-13 – Volume 3B.

Figura 17 – Curva Granulométrica da Jazida 01.



Fonte: Projeto Executivo de Engenharia do Trecho da Avenida NS-15 e LO-13 – Volume 3B.

Figura 18 – Curva Granulométrica da Jazida 02.



Fonte: Projeto Executivo de Engenharia do Trecho da Avenida NS-15 e LO-13 – Volume 3B.

Foram utilizadas as condições mínimas especificadas pelo DERTINS, que de acordo com o documento de Especificações Gerais para Serviços e Obras Rodoviárias, 3ª Edição de 1995, de: Limite de Liquidez menor ou igual a 45, Índice de Plasticidade menor ou igual a 15 e Índice de Suporte de Califórnia mínimo de 60%.

Diferentemente, o Manual de Pavimentação do DNIT define que para a base, o Limite de liquidez deve ser inferior ou igual a 25%, e o Índice de Plasticidade deve ser menor ou igual a 6%. O Manual de Pavimentação do DNIT ainda define que, para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, podem ser empregados materiais com $\text{CBR} \geq 60\%$. Dessa forma, o material adotado para base e sub-base, atende todas as especificações, visto que, nos primeiros anos do período de projeto, o N é menor ou igual a 5×10^6 , como mostra o Quadro de Projeção do VDMAT e dos Valores de “N” do Anexo A.

Porém, o número N durante o projeto atende essa condição apenas nos dois primeiros anos, considerando a abertura de tráfego em 2016, além disso, número N de projeto está acima de 10^7 , que é considerado de um tráfego alto. Dessa forma, a escolha de um CBR menor do 80%, preconizado pelo DNIT, pode gerar problemas funcionais e estruturais no pavimento ao longo de sua vida útil, tendo em vista que a base é a principal camada estrutural do pavimento, pois é responsável por receber e dissipar os esforços oriundos do tráfego.

4.1.3 Projeto de Pavimentação

O método de dimensionamento utilizado é o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER. O Índice de Suporte (ISC) do Subleito foi determinado através da média de dois valores estatísticos, o primeiro valor considerou 80% dos valores de CBR existentes no subleito, e o segundo valor dado pela Equação 6, preconizada pelo Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis, de 1979, resultando em um ISC do subleito de 11,0 %.

$$ISp = \overline{ISC} - \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\overline{ISC}$ = ISC médio dos valores considerados;

σ = desvio padrão dos valores considerados;

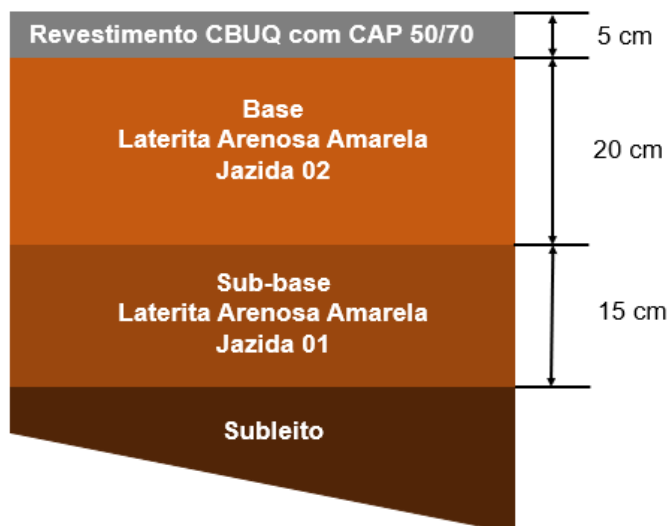
N = número de valores considerados.

Sabe-se que no Método CBR de dimensionamento, para o revestimento, é recomendado espessuras mínimas de acordo com a intensidade do tráfego para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração de flexão do tráfego. No projeto da NS-15 não foi considerado a espessura mínima necessária conforme prevê o método, visto que consta no projeto executivo que o adotado para compor a camada de revestimento, foi um Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com 5 cm de espessura, mesmo tendo em vista um número N de $1,55 \times 10^7$ para o período final de vida útil do pavimento. De acordo com justificativa de projeto a determinação desse revestimento se deu pelo fato de que haveria intervenção de rejuvenescimento da camada betuminoso, entre o 4º e 6º de utilização da via, dependendo do desgaste superficial do pavimento. Porém, o Método do DNIT, define que para um número N maior que $1,0 \times 10^7$ e menor que 5×10^7 , a espessura mínima recomenda é de 10 cm de espessura de um concreto betuminoso. No projeto ainda, foi adotado como cimento asfáltico o CAP 20, porém na execução da composição do CBUQ foi utilizado o cimento asfáltico CAP 50/70.

Considerando os materiais disponíveis para as camadas dos pavimentos, no projeto os coeficientes de equivalência estrutural definidos foram de 1,0 para as camadas de sub-base e base o coeficiente referente à camada granular e um coeficiente estrutura de 2,0 para a camada de revestimento em CBUQ. Com isso, a constituição final do pavimento do Projeto Original da

Avenida NS-15, foi definida com as espessuras mostradas na Figura 19, que resume a estrutura do mesmo, juntamente com o material de cada camada.

Figura 19 – Seção do Pavimento da Avenida NS-15.



Fonte: Autora.

4.2 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N

Foi realizada a determinação de sete Números N, conforme descrito na metodologia e disposto no Quadro 3 daquela seção, cada determinação levou consideração um Fator de Veículo de frota circulante, considerando diferentes distribuições e porcentagem de cargas atuantes (vazios, máximo legal, excesso) para composição da frota. Assim, considerando as demais variáveis utilizadas no cálculo do Número N no projeto executivo da Avenida NS-15, os Números N foram determinados, e os valores obtidos estão apresentados na Tabela 3.

De maneira geral ao avaliar o impacto da alteração na tolerância de carga por eixo, na estimativa do número de solicitações de eixo padrão, ou seja, o Número N de projeto da via NS-15, percebe-se que as diversas configurações de frota não alteram significativamente o valor de solicitações de eixo padrão, com vista ao dimensionamento empírico convencional, visto que todos os valores estão dentro de um intervalo de $10^7 \leq N \leq 2,5 \times 10^7$. Uma vez que no dimensionamento empírico CBR do DNIT todos os valores remeteriam a uma espessura mínima de revestimentos de 10 cm de concreto betuminoso.

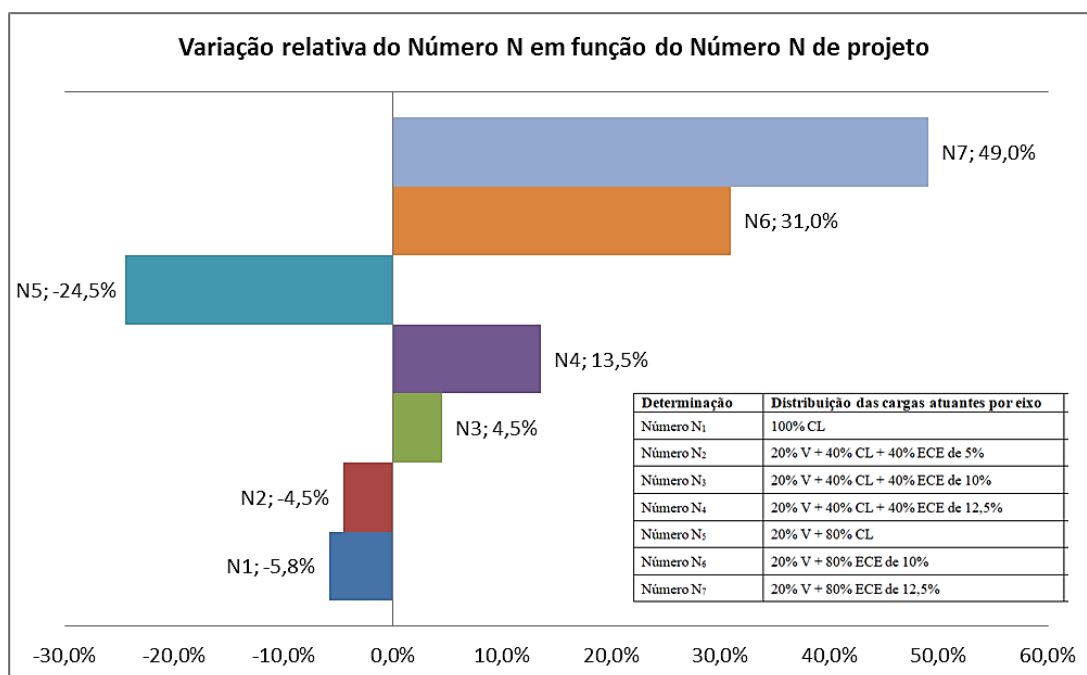
Tabela 3 – Números N determinados neste estudo.

Determinação	Distribuição das cargas atuantes por eixo	Número N
Número N ₁	100% CL	1,46 x 10 ⁷
Número N ₂	20% V + 40% CL + 40% ECE de 5%	1,48 x 10 ⁷
Número N ₃	20% V + 40% CL + 40% ECE de 10%	1,62 x 10 ⁷
Número N ₄	20% V + 40% CL + 40% ECE de 12,5%	1,76 x 10 ⁷
Número N ₅	20% V + 80% CL	1,17 x 10 ⁷
Número N ₆	20% V + 80% ECE de 10%	2,03 x 10 ⁷
Número N ₇	20% V + 80% ECE de 12,5%	2,31 x 10 ⁷
Número N _{NS-15}	20% V + 80% ECE de 5%	1,55 x 10 ⁷

Fonte: Autora.

Porém, avaliando numericamente os valores percebe-se que a alteração tanto na configuração de frota quanto a alteração na tolerância de carga por eixo impacta de uma forma grandiosa no valor de solicitações de eixo padrão da via, conforme pode ser visto no gráfico apresentado a seguir na Figura 20.

Figura 20 – Variação relativa do Número N em função do Número N de projeto da Avenida NS-15



Fonte: Autora.

Conforme pode ser observado, os maiores números N determinados foram o número N_6 e N_7 , que comparados com o número N_{NS-15} , com a mesma distribuição de carga (20% V+ 80% ECE) e diferindo apenas na porcentagem do excesso de carga, tiveram um aumento no Número N de 31,0% e 49,0%, respectivamente. Esses valores, N_{NS-15} , N_6 e N_7 comparados ao Número N_5 , que considerou 80% de carga legal e 20% de carga vazia, apresentaram um aumento de 32,5% para o NS-15, de 73,5% para o N_6 e de 97,4% para o N_7 . Vale ressaltar que, considerando a configuração definida no projeto executivo da Avenida NS-15, o Número N_6 considera o excesso de carga por eixo vigente na época do projeto e o N_7 considera o aumento após a Lei nº 14.229/21.

Analizando apenas o bloco cuja distribuição de frota com uma configuração de 20% veículo vazio, 40% com carga legal e 40% com carga excedente, o Número N_2 com excesso de 5% de carga por eixo, teve o menor valor obtido. O Número N_3 e N_4 , com excesso de 10% e 12,5%, comparados ao Número N_2 , apresentaram um aumento de 9,5% e 18,9%, respectivamente.

4.3 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DO PAVIMENTO

Conforme o Método DNIT, a estrutura do pavimento foi calculada separadamente, para cada intensidade do tráfego determinado na Etapa 2. Apesar de ter sido adotado a espessura de 5 cm de espessura no projeto executivo, as espessuras típicas foram determinadas de acordo com o Método DNIT, inclusive para o Número N da Avenida NS-15.

Para a determinação das espessuras das demais camadas, foi mantida a utilização dos parâmetros definidos no projeto executivo da Avenida NS-15, são eles: ISC do subleito de 11%, e coeficiente estrutural 2,0 para revestimento em concreto betuminoso e 1,0 para camadas granulares de base e sub-base, os resultados obtidos do cálculo de dimensionamento pelo método empírico do DNIT, o método CBR estão apresentados na Tabela 4.

Observa-se que para todas as determinações de tráfego realizadas resulta em uma solução de pavimento única, isso porque, segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), para camadas granulares, a espessura mínima construtiva das camadas é 15 cm. Dessa forma, para todas as intensidades de tráfego que levaram em consideração diversas composições de frota, as espessuras determinadas foram de 15 cm para base e para sub-base.

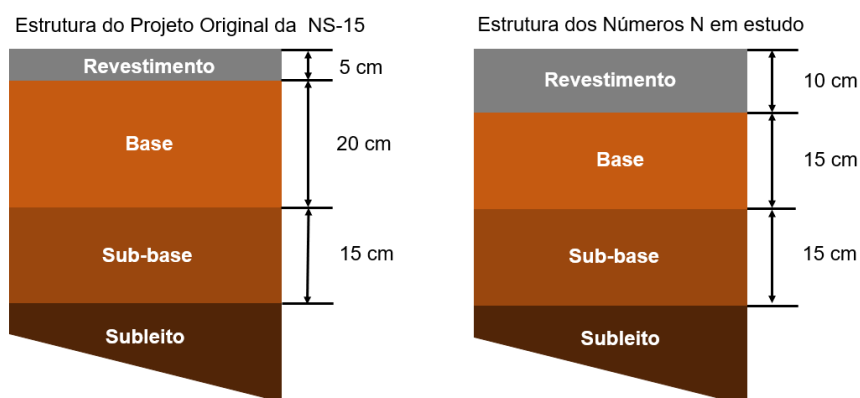
Tabela 4 – Espessura do Pavimento pelo Método DNIT.

Determinação	Número N	Espessura (cm)		
		Revestimento	Base	Sub-base
Número N ₁	1,46 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N ₂	1,48 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N ₃	1,62 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N ₄	1,76 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N ₅	1,17 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N ₆	2,03 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N ₇	2,31 x 10 ⁷	10	15,0	15,0
Número N _{NS-15}	1,55 x 10 ⁷	10	15,0	15,0

Fonte: Autora.

A Figura 21, apresenta a estrutura original do projeto NS-15 e a estrutura determinada para os números N em estudo, com suas respectivas espessuras. Observa-se que as estruturas diferem entre si na espessura do revestimento e na espessura da base do pavimento, de modo que a estrutura original da Avenida NS-15 quando comparado à estrutura dimensionada nesta etapa, apresenta uma redução de 50% da espessura do revestimento e um aumento de 33,3% na espessura da base. Ressalta-se que não foi encontrado em projeto justificativa para adotar uma base de 20 cm, apenas a justificativa da adoção de um revestimento de 5,0 cm em projeto justificando que haveria intervenção de rejuvenescimento da camada betuminoso, entre o 4º e 6º ano de utilização da via, dependendo do desgaste superficial do pavimento.

Figura 21 – Estrutura de Projeto Original da NS-15 e Estruturas Determinadas para os Números N em estudo.



Fonte: Autora.

Sabe-se que o dimensionamento empírico tradicional é governado pela resistência do subleito e o tráfego, seu objetivo é incrementar as espessuras das camadas para que as tensões que chegam ao subleito sejam compatíveis com sua capacidade de suporte admissível, evitando assim que o mesmo rompa por cisalhamento. Não sendo possível então estimar o tempo de vida útil de uma estrutura dimensionada por meio dessa metodologia, uma vez que basicamente a estrutura concebida neste método consegue atender apenas as limitações de tensões que possam provocar ruptura por cisalhamento e deformações permanentes a fundação, não prevendo a deformações elásticas recuperáveis da camada asfáltica. Sendo considerada a grande falha do método atualmente, visto que o principal mecanismo de ruptura em pavimentos flexível é a ruptura por fadiga do revestimento dessas estruturas, além da deformação permanente das camadas granulares dentro da estrutura.

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos no método do DNER/DNIT, o qual é uma adaptação efetuada pelo Eng. Murillo Lopes de Sousa em 1966 do método desenvolvido pelo USACE que utiliza algumas conclusões da pista experimental AASHO (1958 a 1960), é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer se trate de evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. A espessura e a qualidade do revestimento influenciam diretamente no comportamento conjunto da estrutura do pavimento, principalmente quanto aos esforços de tração sob repetição de cargas nas camadas superiores.

Os defeitos estruturais são vinculados às deformações elásticas ou recuperáveis e às plásticas ou permanentes. As deformações plásticas são aquelas acumuladas durante a vida do pavimento, que resultam em defeitos do tipo afundamento, que pode ser localizado ou em grande extensão, este também conhecido como afundamento de trilha de roda – ATR. Sabe-se que o acúmulo de deformações permanentes em uma camada de concreto asfáltico é causado por uma combinação de redução do volume e deformação cisalhante, devido à repetição das cargas de tráfego. Porém, o afundamento de trilha de rodas pode ser resultante da contribuição da deformação permanente acumulada proveniente de todas as camadas do pavimento e do subleito.

O trincamento por fadiga, de acordo com Pinto (1991) decorre da passagem de cargas repetidas que mesmo provocando tensões menores que a resistência à tração da mistura asfáltica, após um número suficiente de solicitações causa a ruptura da camada, resultando em trincas ou fratura completa. Também resulta da contribuição de todas as camadas e inclusive do subleito, e da compatibilização das deformabilidades elásticas entre os materiais.

Assim, propor redução de espessura de revestimento sem um estudo de propriedade da mistura asfálticas, com Módulo de Resiliência e Vida de Fadiga, e/ou aumento de espessura em camadas granulares sem propriedades de Módulo de Resiliência e de Deformação Permanente desses materiais é de fato uma adaptação errônea para o Método empírico CBR. Uma vez que o desempenho dos pavimentos é condicionado pelo surgimento e acúmulo de defeitos ao longo do tempo de exposição ao tráfego e às intempéries.

4.4 ESTIMATIVA DO TEMPO DE VIDA ÚTIL

Qualquer dimensionamento estrutural de uma rodovia tem como objetivo calcular e/ou verificar espessuras e compatibilizar os materiais de forma que a vida útil corresponda a certo número projetado de repetições de carga. Entende-se por vida útil de um pavimento como sendo o período após o qual este atinge um grau inaceitável de deterioração, quer sob o aspecto estrutural, quer sob o aspecto funcional.

O Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) trata-se de uma evolução em relação aos métodos até então utilizados pelo DNIT, no qual realiza-se uma abordagem mecanístico-empírica na análise da estrutura dos pavimentos. Esta análise é realizada a partir do cálculo das tensões, deformações e deslocamentos do sistema de camadas em relação ao carregamento aplicado, e através da verificação das características dos materiais empregados, obtidas em ensaios de laboratório. Ressalta-se que o MeDiNa é um programa de computador que realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos mecanístico-empírico, por meio da rotina AEMC de análise de camadas elásticas de múltiplas camadas, e por ser um programa computacional o mesmo tem dois critérios de análise: o critério de área trincada (%AT) e o critério de deformação permanente das camadas granulares individualmente e total.

A análise de uma estrutura de pavimento ou mesmo o seu dimensionamento pelo MeDiNa requer um conjunto amplo de informações para que os resultados obtidos sejam confiáveis. Tais informações passam pelo conhecimento do subleito (variável existente no sistema), qual o seu módulo de resiliência, qual a curva de deformação permanente obtida em laboratório, e ainda o conhecimento de todos os materiais naturais disponíveis para utilização em bases, sub-bases e reforço do subleito, provenientes de jazidas, pedreiras ou areais, também devem ser muito bem conhecidos e suas propriedades de módulo de resiliência e de deformação permanente devem ser obtidas com ensaios laboratoriais. Com relação aos materiais usinados,

como o concreto asfáltico estes devem ser bem definidos em projeto, principalmente deve apresentar estudos de módulo de resiliência e vida de fadiga desses materiais ainda em fase de projeto.

4.4.1 Dados de Entrada no MeDiNa

Assim, para a análise, pelo método MeDiNa, do tempo de vida útil das estruturas propostas, através da evolução mensal de danos, é necessário conhecer os parâmetros de Módulo de Resiliência, Deformação Permanente e Coeficiente de Poisson dos materiais utilizados nas camadas do pavimento. Em razão da limitação de informações fornecidas pelo projeto, visto que esses parâmetros necessários para análise mecânica-empírica não constam no mesmo, optou-se por se adotar valores típicos teóricos conhecidos na literatura que se assemelham as características dos materiais adotados em projeto.

Para Franco (2007) numa avaliação mecânica empírica, o Módulo de Resiliência e o Coeficiente de Poisson constituem os principais parâmetros necessários para caracterização da capacidade dos materiais do pavimento asfáltico, sejam eles asfálticos ou granulares. Sendo o Módulo de Resiliência um parâmetro que caracteriza o comportamento elástico dos materiais pelas ações das cargas dos veículos diretamente sobre o pavimento.

Scherer (2016) em seu estudo fez o levantamento dos valores típicos do composto por CAP 50/60 e CAP 50/70 da literatura. Considerando os resultados para o CAP 50/70, conforme o Quadro 6, obteve-se um valor médio de 4.620 MPa.

Quadro 6 – Módulos de resiliência de misturas asfáltica compostas por CAP 50/60 e CAP 50/70 na literatura.

Autor	Tipo de CAP	Teor do Ligante (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
Bock (2012)	CAP 50/70	4,6	4.000
	CAP 50/60	4,7	3.902
	CAP 50/60	4,7	4.252
	CAP 50/60	4,7	5.088
Echeverria (2011)	CAP 50/70	4,87	7.000
Média			4.848

Fonte: Scherer (2016).

Na base de dados do software MeDiNa, consta 8 tipos de concretos asfalto, no Quadro 7 estão descritos os tipos de concreto asfáltico, o valor módulo de resiliência desses materiais, coeficiente de Poisson e respectivos coeficientes de regressão que representam as Curva de Fadiga para cada mistura. Para a análise da estrutura concebida no projeto da NS-15 foi adotado

o concreto asfáltico Classe 1 dentro do programa MeDiNa, pois é o valor mais aproximado com a média dos valores encontrados na literatura de CAP 50/70, e dessa forma será iniciado a análise da vida útil quanto as classes de fadiga do MeDiNa.

Quadro 7 – Tipos de Concreto Asfáltico e seus respectivos Módulos de Resiliência do Banco de Dados do Software MeDiNa.

Tipo de Concreto Asfáltico	Módulo de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson	Curva de Fadiga (coeficientes de regressão) Modelo: $N = k_1(\varepsilon_t)^{k_2}$
Classe 1	5.764	0,30	$k_1 = 5,496e-11$ $k_2 = -3,253$
Classe 2	6.743	0,30	$k_1 = 1,11e-13$ $k_2 = -3,979$
Classe 3	8.000	0,30	$k_1 = 1,0e-12$ $k_2 = -3,75$
Classe 4	10.492	0,30	$k_1 = 1,91e-5$ $k_2 = -1,9$
RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	8.289	0,30	$k_1 = 3,0e-13$ $k_2 = -3,78$
RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	9.000	0,30	$k_1 = 5,0e-14$ $k_2 = -3,992$
RJ CAP 30/45 #19mm Sepetiba	11.613	0,30	$k_1 = 9,0e-14$ $k_2 = -3,785$
RJ CAP 50/70 #19mm Sepetiba	9.588	0,30	$k_1 = 1,0e-12$ $k_2 = -3,599$

Fonte: Autora.

Definido os dados para a camada de revestimento, foi então realizado um estudo bibliográfico a respeito de módulo de resiliência para os solos utilizados nas camadas do pavimento. No Quadro 8 estão os valores de Módulo de Resiliência de solos levantados na literatura para Lateritas Grossas e para solos com classificação AASHTO A-2-4 e A-2-6, que são as características dos solos utilizados na estrutura da Avenida NS-15 na base e sub-base e no subleito, respectivamente.

Quadro 8 – Módulo de Resiliência de Solos na literatura.

Autor	Solo	Classificação HBR	Energia Proctor	MR (MPa)
Seixas (1997)	Solo Laterítico em Rio Branco/AC	A-2-6	Normal	475,47
Nervis (2010)	Solo Sedimentar de Santana do Livramento	A-2-4	Normal	62,4
Bonzanini (2011)	Solo Arenoso Fino Laterítico de Santa Bárbara/RS	A-2-4	Normal	214
Ribeiro (2013)	Solo Laterítico Arenoso de São Paulo	A-2-4	Normal	164
Guimarães (2009)	Laterita de Rondônia Jazida S785 (Pedregulho)	-	Modificada	632
	Laterita do Acre (Pedregulho)	-	Intermediária	585
	Laterita Pedregulhosa de Porto Velho (Pedregulho)	-	Intermediária	419
Viana (2007)	Solos Lateríticos Arenosos (LA')	-	Modificada	464,3
	Solos Lateríticos (LA' e LG')	-	Modificada	408,2
	Solos Não Lateríticos Arenosos	-	Modificada	123, 6

Fonte: Autora.

Nos trabalhos até aqui pesquisados não foi possível encontrar dados de solos do grupo A-1, por esta razão, foi utilizado solos formados por Lateritas, pedregulhos lateríticos ou solos lateríticos arenosos, visto que o comportamento mecânico dos solos tropicais se difere dos demais, apresentando módulos resilientes maiores do que de um solo com comportamento não laterítico. Segundo Balbo (2007), as lateritas mais arenosas e granulares, com poucos finos, têm comportamento bem amplos dependente da tensão de confinamento, apresentando valores de Módulo de Resiliência entre 50 MPa e 300 MPa e solos de comportamento não lateríticos estão entre um intervalo de 32 a 125 MPa, a depender de sua composição granulométrica. Viana (2007) observou em seu estudo uma relação de proporção de 1:3,30, aproximadamente, entre os valores médios do Módulo de Resiliência típico de solos não lateríticos e laterítico.

De acordo com Pascoal (2020), a compactação tem influência no comportamento resiliente do solo, em seu estudo utilizando um solo laterítico do Rio Grande do Sul, houve um ganho de cerca de 57% no Módulo de Resiliência ao aumentar a energia de compactação de normal para intermediária, e cerca de 189% para aumentar de normal para modificada. O que mostra a importância da utilização dos parâmetros e ensaios adequados para os solos na pavimentação. Ressalta-se que para a base é normatizada a energia de compactação modificada, para a sub-base é a energia de compactação intermediária, e para subleito é a energia de compactação normal.

Para os módulos de resiliência das camadas de base, sub-base e para o subleito da estrutura proposta no projeto da NS-15 foram adotados MR - modelo linear e valores médios levando em consideração os estudos mencionados anteriormente e conforme as energias adequadas para cada camada. Assim, foi definido para a base um MR de 550 MPa, para a sub-base um MR de 400 MPa, e para o subleito um MR de 230 MPa.

Com relação ao Coeficiente de Poisson que é dado pelo inverso da relação entre a deformação vertical imposta ao material pela deformação horizontal sofrida no corpo de prova, durante um ensaio de compressão uniaxial. No Quadro 9, são apresentados valores típicos para alguns materiais da pavimentação.

Quadro 9 – Valores típicos de coeficiente de Poisson da literatura.

Material	Faixa de Variação
Concretos Asfálticos	0,32 – 0,38
Concreto de Cimento Portland	0,15 – 0,20
Brita Graduada Simples, Macadame Hidráulico, Brita Corrida	0,35 – 0,40
Concreto Compactado com Rolo, Brita Graduada Tratada com Cimento	0,15 – 0,20
Solo Cimento, Solo Melhorado com Cimento	0,20 – 0,30
Solo-Cal	0,25 – 0,30
Solos Arenosos	0,30 – 0,35
Areias Compactadas	0,35 – 0,40
Solos finos	0,40 – 0,45

Fonte: Balbo (2007).

Ainda no Método MeDiNa, a deformação permanente dos materiais é avaliada, conforme a modelagem proposta por Guimarães (2009), através de quatro constantes obtidas em ensaios laboratoriais. No Quadro 10, estão os parâmetros do modelo de previsão para deformação permanente de Guimarães (2009) encontrados na literatura para diversos solos. Considerando a escassez de dados dos materiais utilizados no projeto optou-se por adotar valores obtidos de acordo com a energia de compactação adequada de cada camada, além de materiais mais granulares e que tenham comportamento geotécnico favorável a aplicação em rodovias.

Quadro 10 – Parâmetros do Modelo de Previsão da Deformação Permanente de Guimarães (2009) para diversos solos.

Material	Estado	MCT	$\varepsilon_p^{esp}(\%) = \psi_1(\sigma_3)^{\psi_2} \cdot (\sigma_d)^{\psi_3} \cdot (N)^{\psi_4}$				Autor
			ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4	
Argila de Ribeirão Preto	SP	LG'	0,21	-0,24	1,34	0,04	Guimarães (2009)*
Areia Argilosa	ES	LG'	0,64	0,09	1,58	0,06	Guimarães (2009)
Solo Siltoso Papucaia	RJ	NS'	0,24	0,42	1,31	0,07	
Laterita de Porto Velho	RO	-	0,18	0,47	0,33	0,04	
Areia Fina de Campo Azul	MG	NA	0,05	-1,58	1,88	0,06	
Solo Arenoso Fino Laterítico	MG	LA'	0,02	-0,09	1,37	0,12	Medrado (2012)
Solo Argiloso	MA	LG'	0,09	-0,15	1,62	0,06	Von der Osten (2012)
Solo Argiloso	MA	LG'	0,05	0,03	2,15	0,045	Von der Osten (2012)*
Solo Argiloso – Estrada de Ferro Carajás	MA	LG'	0,02	0,61	2,05	0,09	Delgado et al. (2013)
Areia Argilosa do CI SM	RS	NA'/NG'	0,59	-0,20	1,33	0,04	Zago (2016)
Argila Arenosa do Distrito Industrial SM	RS	LG'	0,39	-0,89	1,52	0,08	
Argila Arenosa Jazida Canabarro SM	RS	LG'	0,87	0,001	1,21	0,04	
Solo Argiloso Eco Ambiental	RJ	LG'	0,32	-0,09	1,21	0,05	Norback (2018)*
Solo Arenoso	RJ	NA'	0,57	0,71	0,27	0,05	
Solo Argiloso	RJ	NG'	0,39	0,84	0,54	0,06	
Solo Laterítico Argiloso	RJ	LG'	0,09	0,38	0,94	0,04	Lima et al. (2018)*
Nova Mutum	MT	NS'	0,11	-1,15	2,15	0,06	Dalla Roza (2018)*
Lucas do Rio Verde – Buritis	MT	NG'	0,13	1,07	1,21	0,05	
Sorriso – Parque dos Poderes	MT	NG'	0,17	0,37	1,64	0,08	
Sorriso – Mont Serrat SR	MT	LG'	0,14	0,54	0,94	0,05	
Sinop – Supermassa	MT	LG'	0,18	-0,27	2,05	0,05	
Sinop – Villa Verde	MT	LG'	0,05	-0,27	2,05	0,05	
Sinop – Terra Rica	MT	LG'	0,18	-0,60	1,72	0,04	
Sinop – Curitiba	MT	LG'	0,11	0,05	1,76	0,05	
Sinop – Aquarela das artes	MT	LG'	0,08	-0,22	1,90	0,04	
Sinop – Panambi	MT	LG'	0,21	0,45	1,93	0,04	
Sinop – Belberde	MT	LG'	0,18	0,00	1,40	0,05	
Alta Floresta	MT	NG'	0,25	0,35	0,87	0,04	
RS – Cruz Alta – RS 343 - Horizonte B	RS	LG'	0,09	0,225	2,16	0,09	Pascoal (2020)
RS – Cruz Alta – RS 343 - Horizonte	RS	LG'	0,02	0,70	0,52	0,10	Pascoal (2020)*
RS – Cruz Alta – RS 343 – Amostra indeformada	RS	LG'	0,02	0,09	0,59	0,09	
RS – Cruz Alta – RS 343 - Horizonte B	RS	LG'	0,01	0,66	0,03	0,08	Pascoal (2020)**

* Compactado na energia intermediária.
 ** Compactado na energia modificada.
 Demais materiais foram compactados na energia normal.

Autor: Pascoal (2009).

Com isso, optou-se por se fazer uma análise das estruturas dimensionadas anteriormente com módulo de resiliência no modelo linear para todos os materiais, buscando alinhar as características de entrada adotadas com os materiais do projeto da Avenida NS-15, foram adotados os parâmetros apresentados na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Parâmetros de Entrada no Software MeDiNa das Camadas do Pavimento.

Camada	Espessura (cm)	MR (MPa)	Curva de Fadiga		Coef. de Poisson	Deformação Permanente			
			k ₁	k ₂		ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
Revestimento	10	5.764	5,496e-11	-3,253	0,30	-	-	-	-
Base	15	550	-	-	0,35	0,10	0,66	0,03	0,08
Sub-base	15	400	-	-	0,35	0,09	0,38	0,94	0,04
Subleito	-	230	-	-	0,45	0,64	0,09	1,58	0,06

Fonte: Autora.

4.4.2 Análise da vida útil do pavimento

Buscou-se analisar e comparar, por meio da análise mecanística-empírica do programa MeDiNa, o tempo de vida útil do pavimento com os diferentes carregamentos com a influência dos excessos de carga por eixo de 5%, 10% e 12,5%, com os Números N determinados no item 4.2. A Tabela 6, apresenta os valores obtidos da vida útil estimada para cada cenário em relação ao tráfego proposto, conforme a metodologia.

Tabela 6 – Análise da Vida Útil dos Pavimentos pelo software MeDiNa.

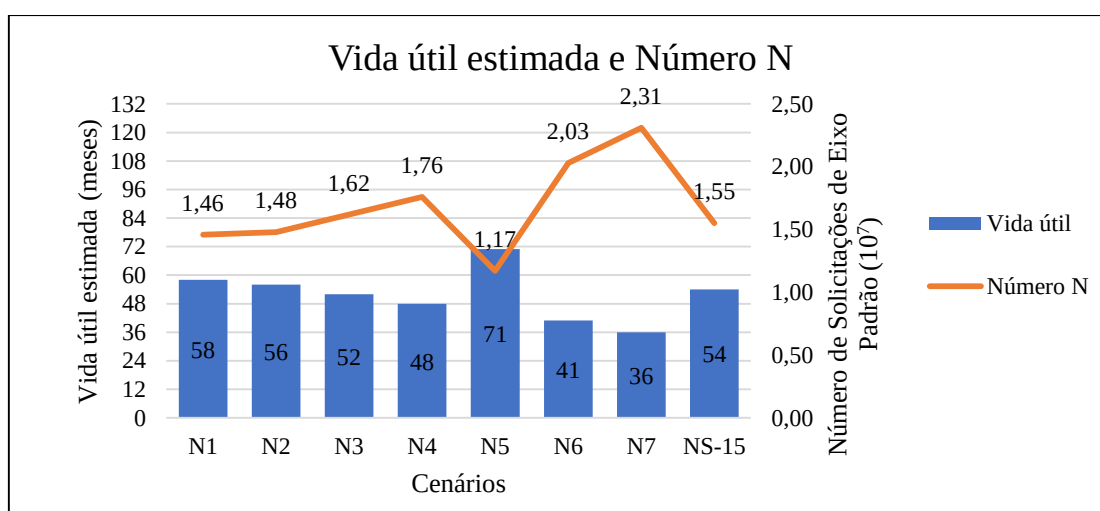
Cenário	Distribuição das cargas atuantes por eixo	Número N	Vida útil estimada
N ₁	100% CL	1,46 x 10 ⁷	58 meses
N ₂	20% V + 40% CL + 40% ECE de 5%	1,48 x 10 ⁷	56 meses
N ₃	20% V + 40% CL + 40% ECE de 10%	1,62 x 10 ⁷	52 meses
N ₄	20% V + 40% CL + 40% ECE de 12,5%	1,76 x 10 ⁷	48 meses
N ₅	20% V + 80% CL	1,17 x 10 ⁷	71 meses
N ₆	20% V + 80% ECE de 10%	2,03 x 10 ⁷	41 meses
N ₇	20% V + 80% ECE de 12,5%	2,31 x 10 ⁷	36 meses
N _{NS-15}	20% V + 80% ECE de 5%	1,55 x 10 ⁷	54 meses

Fonte: Autora.

Como apresentado pela Figura 22, o tempo de vida útil do pavimento é inversamente proporcional ao número de solicitações de eixo padrão de cada cenário, visto que o pavimento se deteriora com os esforços oriundos do tráfego ao longo do período de projeto, desse modo, quanto maior a solicitação ao pavimento menor será o tempo de vida útil do mesmo. Dessa

forma, o Cenário N₇ apresentou o maior valor de Número N, com 36 meses de vida útil e o Cenário N₅ apresentou o menor valor de Número N, com 71 meses de vida útil. Com relação ao cenário N_{NS-15}, observa-se que para uma estrutura dimensionada corretamente pelo método empírico CBR para o tráfego estimado em projeto, a vida útil foi de 54 meses, o que equivale a aproximadamente 4,5 anos. O que mostra que fazer a redução da camada de revestimento e aumentar a camada de base não tem justificativa técnica sem que tenha uma análise mecânica da estrutura e para sem ter um estudo dos parâmetros mecânicos de MR e Curva de Fadiga para o material que irá compor a camada de revestimento, e os parâmetros de MR e curva de deformação permanente para os materiais de solo.

Figura 22 – Vida útil estimada e Número N dos Cenários em estudo.

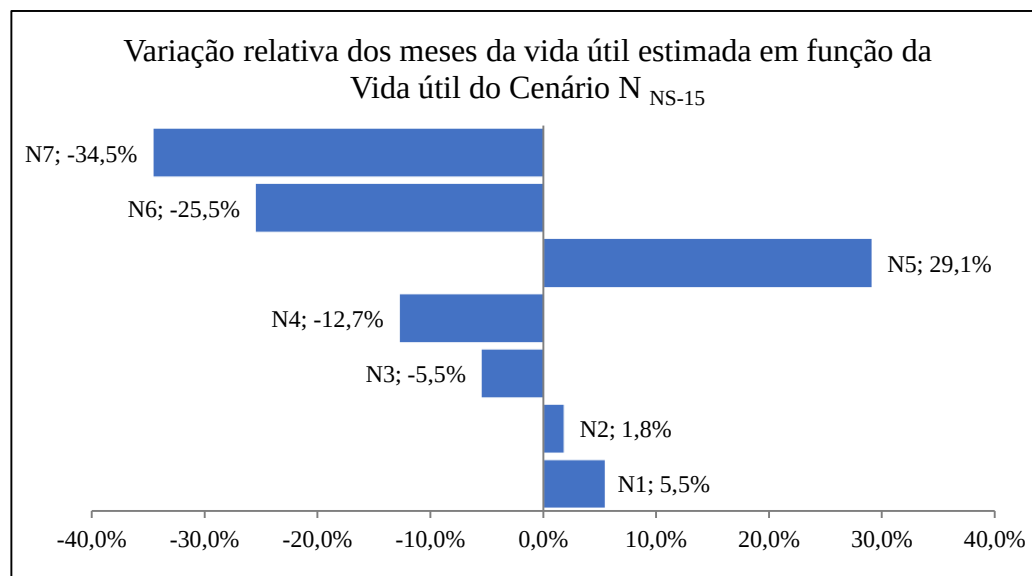


Fonte: Autora.

Considerando todos os cenários em estudo, observou-se um intervalo de 35 meses, para a estimativa de vida útil do pavimento, ressaltando a influência dos parâmetros provenientes do tráfego para o comportamento de um pavimento. A Figura 23, apresenta a variação relativa da vida útil dos Cenários em função do Cenário N_{NS-15}.

A alteração do excesso de carga por eixo para 10%, tolerância em vigência quando o projeto executivo foi realizado reduz a vida útil do pavimento em 25,5%. Já a alteração para 12,5%, tolerância vigente com a Lei 14.229/21, apresenta uma redução de 34,5% da vida útil estimada para a estrutura da Avenida NS-15.

Figura 23 – Variação Relativa da Vida útil em função da Vida útil do Cenário N_{NS-15}.



Fonte: Autora.

Com isso, nota-se a grande influência que o aumento da tolerância do excesso de peso tem no pavimento, e que o tráfego e sua estimativa adequada podem interferir de modo bastante significativo na vida útil da estrutura.

4.4.3 Projeto Original da Avenida NS-15

Para uma avaliação completa, foi realizada a análise da estrutura Original do Pavimento da Avenida NS-15 e o seu dimensionamento pelo MeDiNa. Na análise observou-se que o pavimento apresenta 99,0% de área trincada estimada ao final do período de projeto e um afundamento de trilha de roda total de 8,2 mm, sendo 0,52 mm da base, 0,29 mm da sub-base e 7,40 mm do subleito, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Análise da Estrutura Original do Pavimento da NS-15.

RESPONSÁVEL: Bianca Laet EMPRESA: Fundação Universidade Federal do Tocantins

PROJETO: NS15 - Estrutura Original MODO: Pavimento Novo (Nível A)

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 1	5,0	5764	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Base Adotada	20,0	550	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Sub-base Adotada	15,0	400	0,35
SL	SUBLEITO	Subleito Adotado	0,0	230	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1539
FV:	5,959
N anual (1º ano):	3,35e+06
% Veículos na faixa de projeto:	40
N Anual da faixa:	1,34e+06
Taxa de crescimento (%):	1,0
Período de projeto (anos):	11
N Total:	1,55e+07

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 99,0%

Afundamento de Trilha de Roda: 8,2mm

--- ALERTAS ---

Tráfego elevado para a estrutura proposta.

Fonte: Autora.

De acordo com a análise realizada pelo método MeDiNA e levando em consideração os parâmetros dos materiais aqui estudado, a estrutura de pavimento definida em projeto apresenta uma estimativa de vida útil de apenas 42 meses ou seja aproximadamente de 3 anos e 6 meses. A partir disso, observa-se que está próximo ao período indicado em projeto para realização de uma possível intervenção de rejuvenescimento da camada asfáltica. Porém, salienta-se que o pavimento chega ao fim de sua vida útil nesse período, indicando que a estrutura já está comprometida de forma estrutural e funcional, sendo necessária a intervenção para rejuvenescimento antes dos 42 meses.

Quando comparada a análise do Cenário N_{NS-15}, realizada no item 4.4.2, o pavimento original do projeto executivo reduz 22,2% em sua vida útil. Com isso, por meio da comparação realizada, verifica-se a influência da adaptação errônea do projeto da Avenida NS-15 quanto a redução do revestimento no dimensionamento pelo método empírico.

No dimensionamento realizado com o software MeDiNa (Figura 25), obteve-se um espessura para o revestimento de 18,8 cm para a base de 20 cm e sub-base de 15 cm, com o pavimento apresentando um %AT ao fim do período de projeto de 28,3%. A espessura do pavimento, obtida pelo método mecanístico empírico, foi aproximadamente 3,8 vezes maior do que a definida no projeto executivo.

Figura 25 – Dimensionamento do Pavimento da NS-15 pelo MeDiNa.

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODO:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 1	8,8	5764	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 1	10,0	5764	0,30
3	MATERIAL GRANULAR	Base Adotada	20,0	550	0,35
4	MATERIAL GRANULAR	Sub-base Adotada	15,0	400	0,35
SL	SUBLEITO	Subleito Adotado	0,0	230	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1539
FV:	5.959
N anual (1º ano):	3.35e+06
% Veículos na faixa de projeto:	40
N Anual da faixa:	1.34e+06
Taxa de crescimento (%):	1,0
Período de projeto (anos):	11
N Total:	1.55e+07

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,3%

Afundamento de Trilha de Roda: 2,7mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Fonte: Autora.

4.5 AVALIAÇÃO DO TIPO DE CLASSE ASFÁLTICA NO TEMPO DE VIDA ÚTIL

Sabendo da dificuldade de se realizar um projeto com dados completos da mistura que será utilizada em campo o programa MeDiNa separou quatro classes de fadiga das misturas asfálticas para o pavimento de acordo com o número de solicitações por eixo padrão. As classes foram divididas com base nos valores de Módulo de Resiliência e de Desempenho à Fadiga. Dentre as classes, a Classe 4 corresponde as misturas que atendem mais de $1,0 \times 10^7$ repetições do eixo padrão, intervalo que se encaixam os Números N estudados.

Assim, foi realizado análise da influência da classe de concreto asfáltico na vida útil do pavimento, como descrito no item 3.5, considerando a estrutura padrão de 10 cm de espessura de revestimento asfáltico, 15 cm de espessura de base e 15 cm de espessura de sub-base. Na Tabela 7 estão apresentados os valores da estimativa da vida útil estimada de acordo com a Classe Asfáltica.

Tabela 7 – Estimativa da vida útil do pavimento de acordo com a Classe Asfáltica.

Cenário	Estimativa da Vida útil			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
N₁	58 meses	67 meses	83 meses	108 meses
N₂	56 meses	65 meses	81 meses	106 meses
N₃	52 meses	60 meses	75 meses	97 meses
N₄	48 meses	55 meses	69 meses	90 meses
N₅	71 meses	82 meses	102 meses	132 meses
N₆	41 meses	48 meses	60 meses	79 meses
N₇	36 meses	43 meses	54 meses	68 meses
N_{NS-15}	54 meses	63 meses	78 meses	101 meses

Fonte: Autora.

A Classe 1 foi a classe adotada nas análises da vida útil, pois o Módulo de Resiliência é próximo ao valor do MR do CBUQ 50/70 encontrado na literatura, material utilizado na execução da Avenida NS-15. Na análise, a Classe 1 obteve uma vida útil máxima de 71 meses, que correspondem a 53,8% do período do projeto.

Considerando todos os cenários, a maior vida útil para todas as classes foi do Cenário N₅, e valor máximo de cada classe comparada a vida útil esperada para o pavimento foi de 62,1%, % e 77,2%, para Classe 2 e Classe 3 respectivamente. Salienta-se que na análise do Cenário N₅ com a Classe 4, o pavimento apresenta 29,7% de área trincada estimada ao final do período de projeto, próximo ao critério de parada de área trincada do programa MeDiNa de 30%. Desse modo o cenário apresenta a vida útil estimada dimensionada em projeto, como apresentada na Figura 26, a seguir.

Figura 26 – Análise do Cenário N₅ com a Classe Asfáltica 4.

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODO:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 4	10,0	10492	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Base Adotada	15,0	550	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Sub-base Adotada	15,0	400	0,35
SL	SUBLEITO	Subleito Adotado	0,0	230	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

☐ **DADOS DO TRÁFEGO**

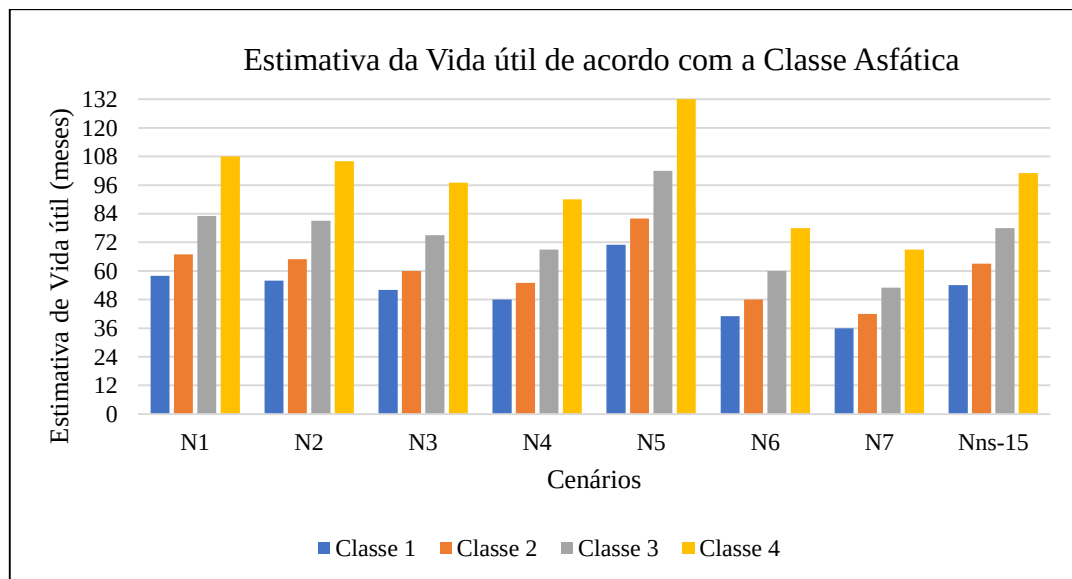
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1539
FV:	4,516
N anual (1º ano):	2,54e+06
% Veículos na faixa de projeto:	40
N Anual da faixa:	1,01e+06
Taxa de crescimento (%):	1,0
Período de projeto (anos):	11
N Total:	1,17e+07

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.
 Nível de confiabilidade da análise: 85%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 29,7%
 Afundamento de Trilha de Roda: 5,1mm

Fonte: Autora.

A partir da Figura 27, é possível analisar a influência da classe asfáltica na vida útil do pavimento. Nota-se que com a Classe 1 foram obtidos os menores valores da estimativa da vida útil para cada cenário, e a Classe 4 apresentou os maiores valores na análise.

Figura 27 – Estimativa da Vida útil de acordo com a Classe Asfáltica.



Fonte: Autora.

Sabe-se que as classes apresentadas pelo programa MeDiNa foram definidas considerando um estudo com mais cem misturas asfálticas, tendo em vista os Módulos de Resiliência e o Desempenho à Fadiga, e foram separadas em relação ao suporte do pavimento quanto à intensidade do tráfego. A Classe 4, de acordo com o estudo, foi classificada para tráfegos com intensidade superior a $1,0 \times 10^7$ solicitações de um eixo padrão.

Para a estrutura proposta utilizando a Classe 4, o programa MeDiNa apontou um alerta de tráfego elevado para misturas acima de $1,46 \times 10^7$ de solicitações de um eixo padrão. Com isso, tem-se que estrutura proposta não atende o tráfego em estudo de forma abrangente, apresentando o rompimento por fadiga do revestimento antes do fim do período de projeto determinado de 10 anos.

Com o passar dos anos a intensidade do tráfego nas rodovias aumentou, e o tráfego considerado elevado há alguns anos, é o cenário atual da maioria das rodovias do país. Apesar disso, os materiais utilizados no dimensionamento continuam sendo os mesmos, com características técnicas que não atendem mais o tráfego atual. Salienta-se desse modo a importância da realização dos ensaios e estudos necessários para caracterização dos materiais empregados na pavimentação, bem como a importância do controle tecnológico no dimensionamento do mesmo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A infraestrutura rodoviária tem grande importância no desenvolvimento econômico e para garantia de direitos fundamentais dos cidadãos, pois cerca de 65% do transporte de carga e 95% do transporte de passageiros é realizado pelas rodovias brasileiras. A estrutura de um pavimento deve ser dimensionada para um determinado tempo de vida útil de acordo com as características técnicas adotadas para a rodovia. Quanto ao tráfego, sua previsão deve ser realizada levando em considerações a configuração e o carregamento do tráfego. Com o aumento do excesso de peso por eixo permitido para os veículos de carga, o pavimento sofrerá um impacto maior, visto que ele não foi dimensionado anteriormente prevendo esse carregamento adicional que tráfegará sobre o mesmo.

Este trabalho teve como o objetivo analisar a influência do aumento de carga por eixo, considerando o aumento para 12,5% pela Lei nº 14.229/21, tem na estimativa do número N de projeto e na vida útil do pavimento, tendo como objeto de estudo um trecho da Avenida NS-15, no qual no dimensionamento foi utilizado um excesso de carga por eixo de 5%. A análise foi realizada pelo método de dimensionamento vigente no país, o método empírico do DNIT e pela análise mecanística-empírico com o novo Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa, através do software MeDiNa,

Para a análise foram adotadas diferentes configurações de tráfego com carregamento de carga vazia, de carga legal e com os excessos de carga por eixo de 5%, de 10% e de 12,5%. Comparado com a carga legal, com um carregamento com a mesma configuração de frota, para a estimativa do Número N o excesso de peso por eixo de 12,5% teve um aumento de cerca 97,4%. Quando comparado com o Número N utilizado no projeto executivo da Avenida NS-15, o aumento do número N considerando o excesso de peso por eixo da Lei nº 14.229/21, teve um aumento de 49%.

No dimensionamento empírico não houve impacto na estrutura do pavimento com aumento do Número N pelo excesso de carga por eixo. A partir da comparação da vida útil do pavimento, pela análise com software MeDiNa, observou-se uma redução de 35 meses com o excesso de 12,5% em vista a carga legal, e a redução de 18 meses em vista a utilização do excesso de 5%, como foi definido no projeto executivo da Av. NS-15.

Observou-se por meio da análise com o software MeDiNa, que o pavimento definido no projeto executivo da Avenida NS-15 teria uma vida útil de 42 meses, aproximadamente 32% do tempo total do período de projeto de 10 anos, e a estrutura do pavimento requer uma espessura de revestimento 4 vezes maior do que a definida em projeto para atender os critérios

de parada do método MeDiNa. Isso pode ser uma explicação para o motivo das rodovias brasileiras apresentarem uma vida útil reduzida em comparação a vida útil projetada, pois o atual método vigente não leva em consideração a o comportamento mecânico dos materiais que compõem a estrutura do pavimento.

Conclui-se, a partir da análise empírica mecanicista, que o aumento do excesso de carga por eixo tem grande influência na estimativa de vida útil do pavimento, de forma que se o carregamento adotado for diferente do carregamento que tráfegará na via, a previsão do Número N se tornará imprecisa, podendo ocasionar minoração das cargas atuantes no pavimento, reduzindo a vida útil do pavimento e consequentemente gerar degradações antes do esperado comprometendo a funcionalidade da rodovia e segurança do usuário.

Com a avaliação da influência do tipo de classe asfáltica do revestimento betuminoso na vida útil do pavimento, obteve um aumento significativo da vida útil do pavimento, com aumento entre 33 e 61 meses com a alteração apenas da classe asfáltica disponível no banco de dados do software MeDiNa.

Portanto, observa-se que a definição dos parâmetros do tráfego, bem como as características dos materiais tem grande influência na vida útil de um pavimento, o que ressalta a importância da qualidade técnica dos materiais e do estudo de tráfego para garantir que o pavimento atenda os objetivos para o qual ele foi dimensionado. Com essa análise, destaca-se a importância de utilizar os parâmetros de tráfegos adequados, bem como a importância do controle técnico dos materiais, para o dimensionamento de um pavimento para que as rodovias do país apresentem uma qualidade melhor aos usuários, além de ter uma vida útil do pavimento próxima da vida útil adotada em seu projeto.

Não importa a metodologia de cálculo utilizada, o principal objetivo do projeto de um pavimento rodoviário é que seu dimensionamento produza uma estrutura cuja superfície seja resistente, ao tráfego de veículos e ao clima, e ainda seja regular que proporcione ao usuário conforto, que é a capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego, e ainda, proporcione ao usuário segurança que está relacionada à interação pneu-pavimento, a sinalização satisfatória das rodovias e boas condições de drenagem (redução da lâmina de água). Além disso, o dimensionamento deve levar em consideração as questões econômicas, visando controlar os custos iniciais, bem como os custos e períodos de manutenção desta estrutura.

Um bom e adequado dimensionamento estrutural de uma estrutura de pavimento irá prevê um controle dos custos iniciais de uma obra rodoviária. Já a escolha mais adequada e

eficiente do tipo e propriedades de mistura asfáltica (camada de revestimento) e seleção/uso de materiais tanto que irá compor as camadas da estrutura como o solo de fundação é quem ajusta estes custos. Uma vez que estudar o desempenho da estrutura é quem controla os custos e o período de manutenção de todo projeto rodoviário.

5.1. Sugestões para pesquisas futuras

Como o projeto da NS-15 foi nosso objeto de estudo, e diante de todas as análises aqui realizadas, existem várias perguntas a respeito da qualidade e eficiência do mesmo, uma vez que até agora a obra não foi finalizada, não possui sinalização e apresenta diversos defeitos. Assim, como sugestões para pesquisas futuras, a seguir:

1. Realizar um estudo de tráfego atual, uma contagem volumétrica e classificatória atual da na via, para compará-la com a previsão realizada em projeto.
2. Realizar um estudo e coleta de amostra de materias para realização de ensaios de MR, ensaio de fadiga na mistura asfáltica, e ensaio de deformação permanente nos materiais de solo.
3. Realizar um estudo dos defeitos existente na via, para que consiga entender o real estado da condição funcional e estrutural da mesma.
4. Além de um estudo defletoométrico, obtendo todos os dados da bacia de deformabilidade, seja ele obtido com a Viga Benkelman com o equipamento FWD.
5. Com os dados do estudo defletoométrico completo com todos os dados da bacia, realizar um estudo de retroanálise com o software BackMeDiNa, com objetivo de obter os valores retroanalizados dos MR dos materiais das camadas, e ainda realizar um projeto de reforço da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F. **Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/4498>>. Acesso em 15 de dezembro de 2021.

ALVES, J.V. et al. **Avaliação dos impactos do excesso de peso por eixo em veículos no transporte rodoviário de cargas**. Anais do V CONAPESC. Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/72951>>. Acesso em 15 de dezembro de 2021.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARBOSA, I. L. S.; SOARES, V. F. **Análise Numérica do Efeito do Sobre peso sobre o Pavimento Rodoviário**. Construindo, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <<http://revista.fumec.br/index.php/construindo/search/authors/view?givenName=Veronica%20Ferreira&familyName=Soares&affiliation=Centro%20universit%C3%A1rio%20-%20UniEvang%C3%A9lica&country=BR&authorName=Soares%2C%20Veronica%20Ferreira>>. Acesso em 20 de novembro de 2021.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobás; ABEDA; 2008. 509 p.

BERNUCCI, L. B. e SANTOS, C. R. G. **A Degradação Precoce dos Pavimentos em Decorrencia do Excesso de Carga**. In: Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões, 8, e Exposição Internacional de Produtos para Rodovias, 8. Santos, 2013.

BOCK, A. L. **Pesagem em movimento de cargas atuantes em rodovias e seu impacto no desempenho de pavimento da rede temática de asfalto**. Tese de Doutorado, Univerdade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BRASIL. **Lei nº 7.408 de 25/11/1985.** Permite a tolerância de 5% (cinco por cento) na pesagem de carga em veículos de transporte. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 25/11/1985. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17408.htm>. Acesso em 9 de novembro de 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.229 de 21/05/2021.** Altera a Lei nº 7.408, de 25 de novembro de 1985, e a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro), para dispor sobre a fiscalização do excesso de peso dos veículos; altera a Lei nº 10.209, de 23 de março de 2001, para dispor sobre a prescrição da cobrança de multa ou indenização nos termos que especifica; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 21/10/2021. Disponível em: < <https://legis.senado.leg.br/norma/35077748>>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

COSTA, S. P. d., AGUIAR, E. G. d. S., GAMA, L. d. C. S., & FONSECA, L. F. d. S. d. (2021). **Impactos gerados pela fiscalização do excesso de peso em veículos comerciais na rodovia BR-153 em Gurupi – TO.** *Research, Society and Development*, 10(6). 2021. Disponível em: < https://redib.org/Record/oai_articulo3222168-impactos-gerados-pela-fiscaliza%C3%A7%C3%A3o-do-excesso-de-peso-em-ve%C3%ADculos-comerciais-na-rodovia-br-153-em-gurupi-%E2%80%93/Citing#tabnav>. Acesso em: 23 de dezembro de 2021

CNT, Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019:** Relatório Gerencial. Brasília, 2019. Disponível em: < <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em 19 de novembro de 2022.

CNT, Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021:** Relatório Gerencial. Brasília, 2021. Disponível em: < https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf>. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

_____. **Transporte em movimento:** As vantagens de transportar sem sobrecarga. Informativo. Brasília, 2019. Disponível em:

<<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/3e529752-3c42-4ed3-a0af-f83ea10c1718.pdf>>.

Acesso em 25 de novembro de 2021.

CONTRAN, Conselho Nacional De Trânsito. **Resolução nº 210, de 13 de novembro de 2006. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 nov. 2006.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **DNIT 005/2003- TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia.** Publicação IPR, Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **DNIT 141/2010 - ES – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de Serviço.** Publicação IPR, Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro, 20.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **Manual de Pavimentação.** 3ª Edição. Publicação IPR, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/719_manual_de_pavimentacao.pdf>. Acesso em 30 de novembro de 2021.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.** 2ª Edição. Publicação IPR, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: < https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf>. Acesso em 27 de dezembro de 2021.

FERNANDES JUNIOR, J. L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos.** 1994. Tese (Doutor em Transportes) - Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FERNANDES JUNIOR., J.L., ODA, S. & ZERBINI, L. F., **Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 1999.

FRANCO, F.A.C.P., **Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos - SISPAV**, 2007, 294p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

FRANCO, F. A. C. P. e MOTTA, L. G. **MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional. Manual de Utilização**. Versão 1.1.3.0. Rio de Janeiro, 2020.

FONTENELE, H. B; ZANUNCIO, C. E. M.; SILVA JÚNIOR, C. A. P. d . **O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito**. Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online), v. 18, p. 95-103, 2011.

GHISOLFI, V. **Dinâmica de Sistemas para Avaliação de Impactos do Excesso de Peso no Transporte Rodoviário de Cargas**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em < <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/11969>>. Acesso em 26 de novembro de 2021.

GUIMARÃES, A. C. R. **Um método mecânico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos**. Tese de doutorado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GUIMARÃES, A. C. R.; DORNELLAS, T. B. **Estudo comparativo do comportamento mecânico de lateritas do Amazonas utilizadas no pavimento da BR-319/AM – Lote C**. In: Artigo. COMBRAMSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o desenvolvimento, inovação e sustentabilidade. [S.l.], 2010.

MEURER, P. H. S. **Avaliação do comportamento resiliente de um cascalho laterítico do Mato Grosso empregado em estrutura de pavimento dimensionado pelo MeDiNa**. Monografia - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

PASCOAL, P. T. **Estudo da influência da compactação no comportamento resiliente e deformação permanente de solo laterítico do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2020.

PITANGUI, L. C. **Análise comparativa do método do DNER com o método mecanístico-empírico MeDiNa.** 2019. 93 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

RÉUS, T. F.; DA SILVA JÚNIOR, C. A. P.; FONTENELE, H. B. **Análise empírico-mecanística do efeito do excesso de carga veículos comerciais.** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [S. l.], v. 9, n. 2, 2014. DOI: 10.5216/reec.v9i2.29489. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/29489>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2021.

SCHERER, C. **Influência do comportamento resiliente do subleito no desempenho de pavimentos flexíveis.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 30 jun. 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1270>>.

SCHMITT, S. K. **Avaliação da tolerância de peso permitida por eixo no dimensionamento de pavimentos flexíveis.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação de Engenharia Civil. Florianópolis – SC. 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/157095>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

VIANA, H. M. F. **Estudo do comportamento resiliente dos solos tropicais grossos do interior do Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Transportes e área de Concentração em Infraestrutura de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2007.

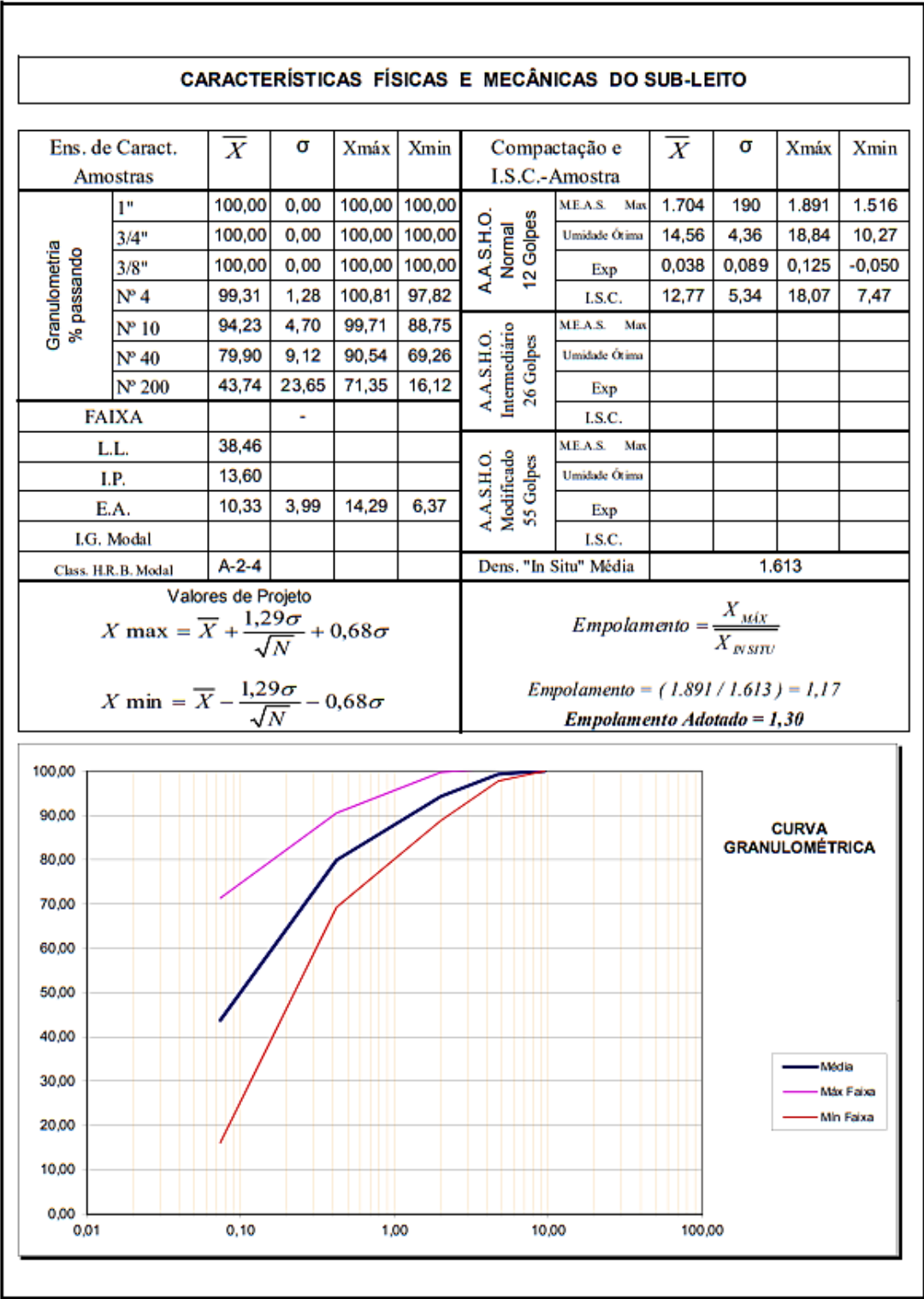
ANEXO A – PROJETO NS-15

ESTUDOS DE TRÁFEGO

ET.10 - PROJEÇÃO DO "VMDAT" E DOS VALORES DE "N"									
RODOVIA:		VIA URBANA							
TRECHO:		AVENIDAS NS15							
ANO DA PESQUISA		TAXA DE CRESCIMENTO DO TRÁFEGO			PERÍODO DE PROJETO (ANOS)	FATORES DE VEÍCULO - FV		FATOR CLIMÁTICO REGIONAL FR	FATOR DE PISTA FP
		PASSEIO	COLETIVO	CARGA		MÉTODO USACE	MÉTODO AASHTO		
2.014		1,00%	1,00%	1,00%	10	5,96253	2,63052	1,00	0,40
VMD		COMPOSIÇÃO DA FROTA			ANO DE ABERTURA AO TRÁFEGO	NÚMERO "N" ACUMULADO (COLETIVO E CARGA)		OBSERVAÇÕES	
		PASSEIO	COLETIVO	CARGA					
7.708		80,05%	9,69%	10,26%	2.015				
ANO		VEÍCULO - TIPO			VMDAT Total	MÉTODO USACE	MÉTODO AASHTO		
		PASSEIO	COLETIVO	CARGA					
	2.015	6.170	747	791	7.708	1,34E+06	5,91E+05	Abertura ao Tráfego	
1	2.016	6.232	754	799	7.785	2,69E+06	1,19E+06		
2	2.017	6.294	762	807	7.863	4,06E+06	1,79E+06		
3	2.018	6.357	770	815	7.942	5,44E+06	2,40E+06		
4	2.019	6.421	777	823	8.021	6,83E+06	3,01E+06		
5	2.020	6.485	785	831	8.101	8,24E+06	3,63E+06		
6	2.021	6.550	793	840	8.183	9,66E+06	4,26E+06		
7	2.022	6.615	801	848	8.264	1,11E+07	4,89E+06		
8	2.023	6.681	809	857	8.347	1,25E+07	5,53E+06		
9	2.024	6.748	817	865	8.430	1,40E+07	6,18E+06		
10	2.025	6.816	825	874	8.515	1,55E+07	6,83E+06		
11	2.026	6.884	833	882	8.599	1,70E+07	7,49E+06		
12	2.027	6.953	842	891	8.686	1,85E+07	8,16E+06		
13	2.028	7.022	850	900	8.772	2,00E+07	8,83E+06		
14	2.029	7.092	859	909	8.860	2,16E+07	9,51E+06		
15	2.030	7.163	867	918	8.948	2,31E+07	1,02E+07		

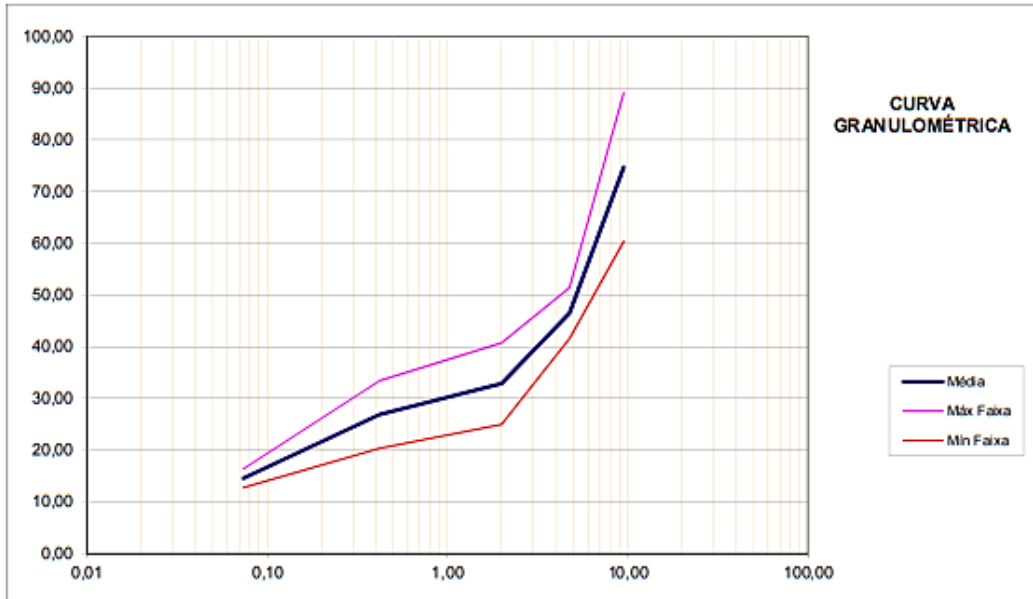
ESTUDOS GEOTÉCNICOS

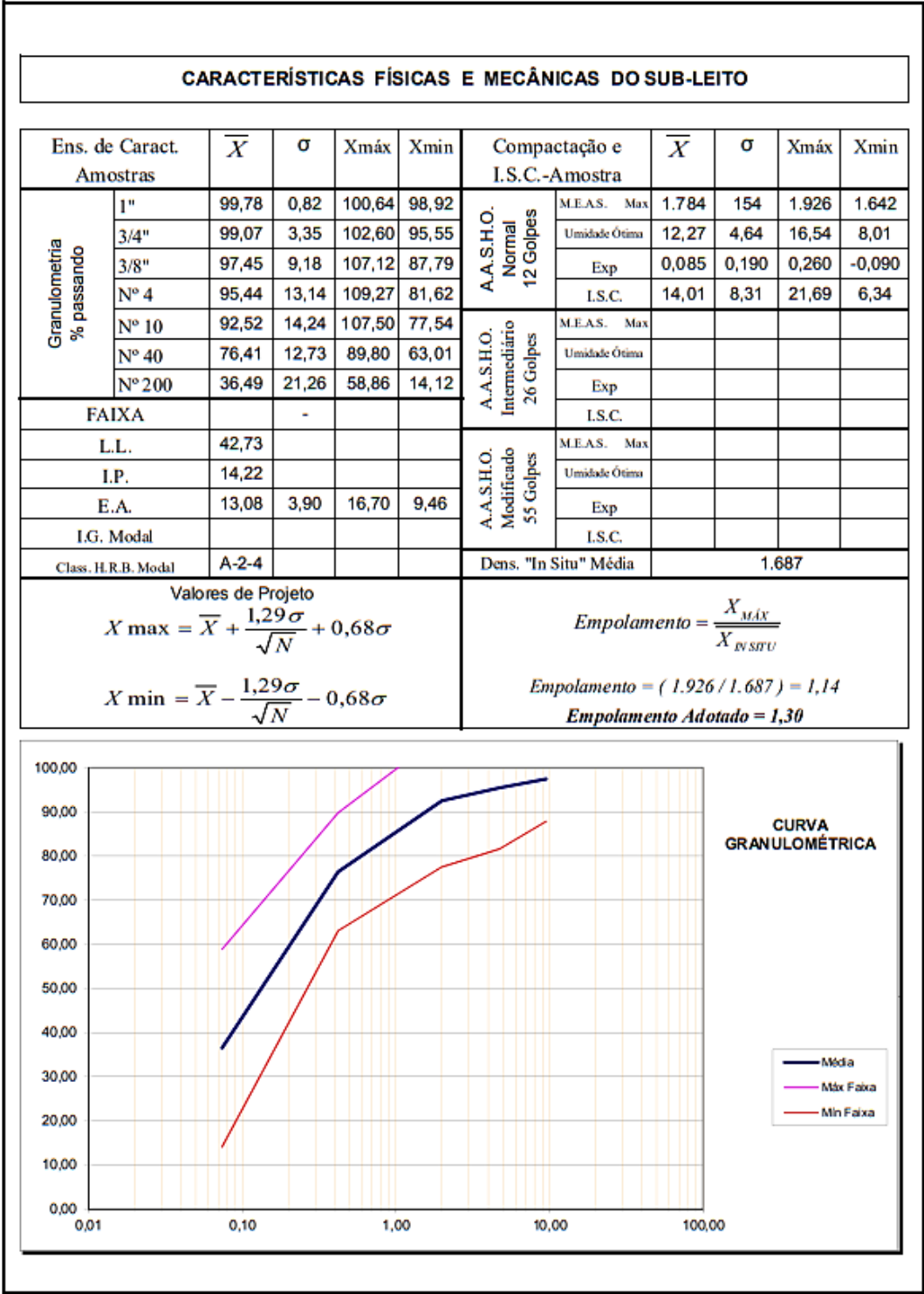
1 Resumo dos Ensaiois do Subleito

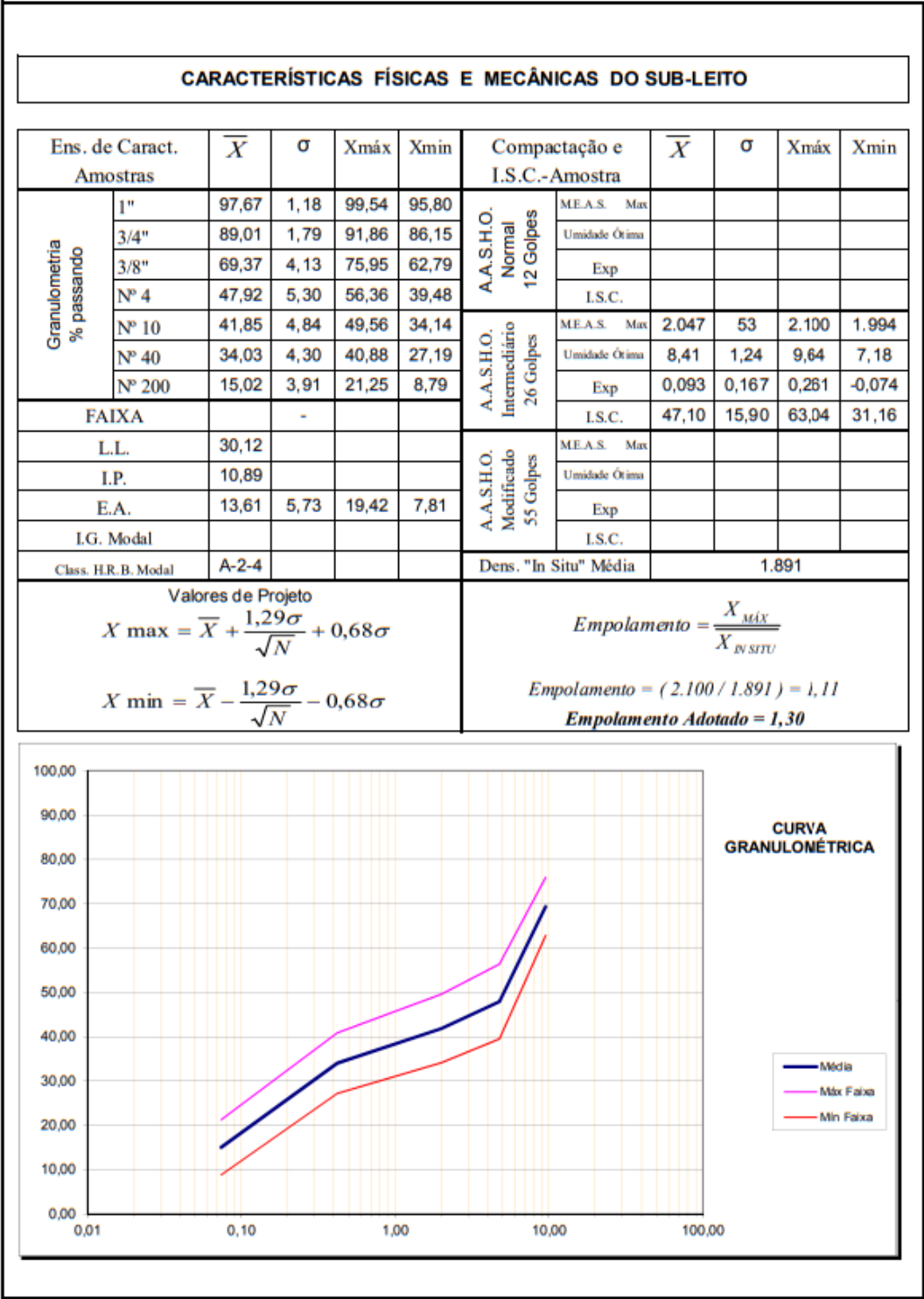


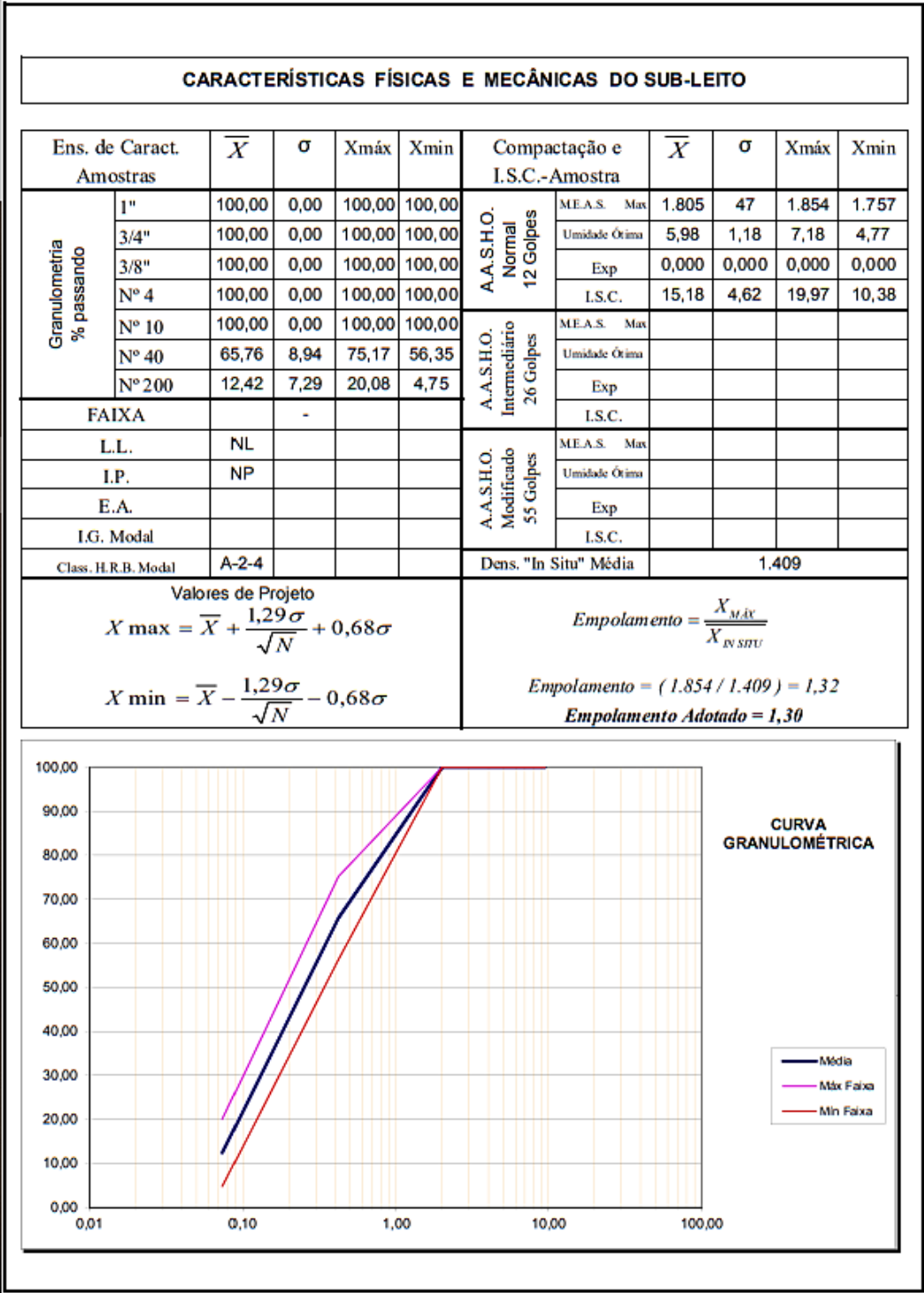
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO SUB-LEITO

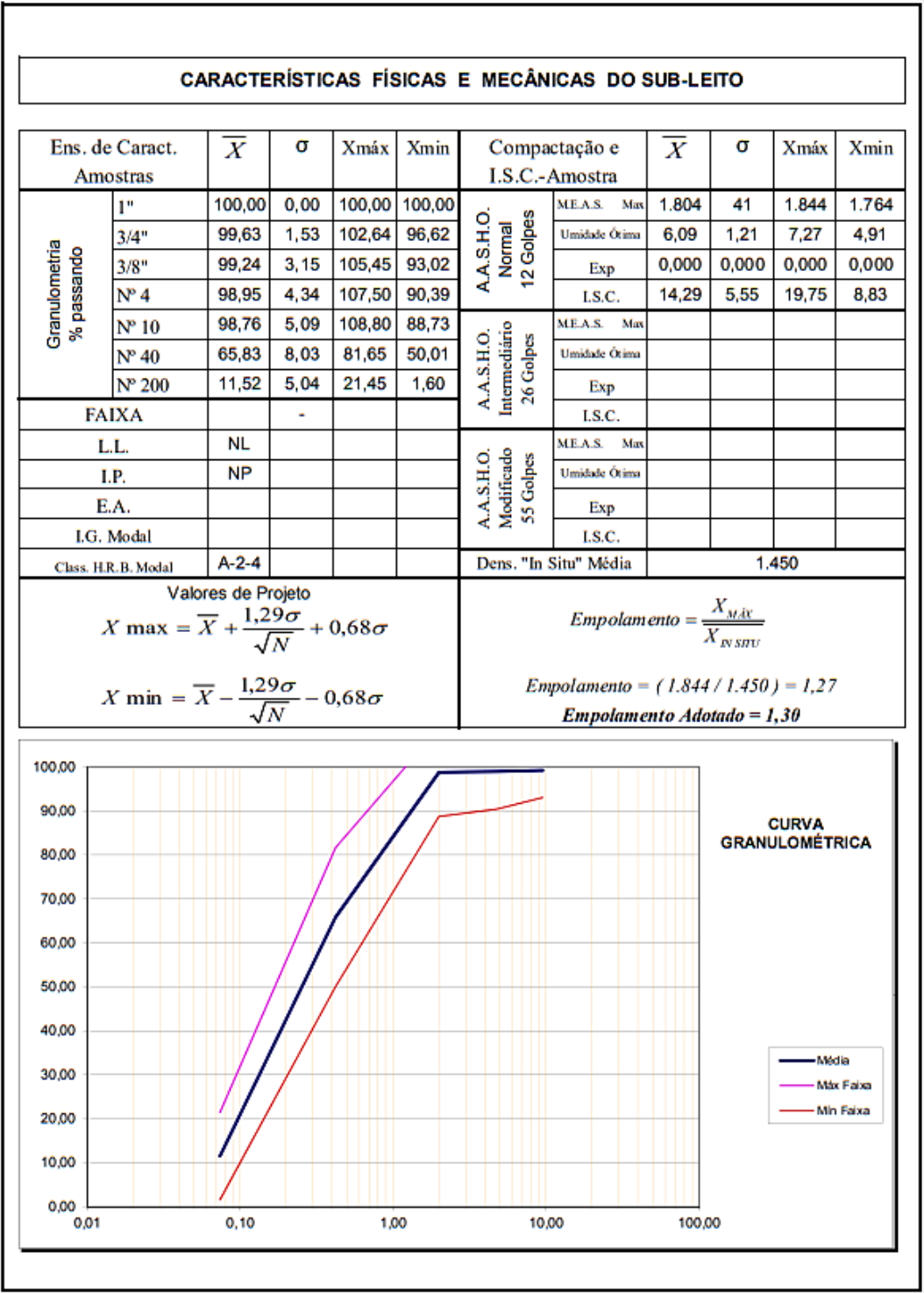
Ens. de Caract. Amostras		$\bar{X}$	σ	Xmáx	Xmin	Compactação e I.S.C.-Amostra		$\bar{X}$	σ	Xmáx	Xmin
Granulometria % passando	1"	99,57	0,75	101,05	98,09	A.A.S.H.O. Normal 12 Golpes	M.E.A.S. Max				
	3/4"	93,80	1,35	96,46	91,14		Umidade Ótima				
	3/8"	74,70	7,30	89,09	60,31		Exp				
	Nº 4	46,50	2,50	51,43	41,58		I.S.C.				
	Nº 10	32,83	4,00	40,71	24,95	A.A.S.H.O. Intermediário 26 Golpes	M.E.A.S. Max	1,921	60	1,996	1,846
	Nº 40	26,87	3,32	33,41	20,33		Umidade Ótima	8,80	1,60	10,81	6,79
	Nº 200	14,57	0,93	16,40	12,74		Exp	0,000	0,000	0,000	0,000
					I.S.C.		44,80	17,53	68,03	21,57	
FAIXA			-			A.A.S.H.O. Modificado 55 Golpes	M.E.A.S. Max				
L.L.		31,35					Umidade Ótima				
I.P.		12,90					Exp				
E.A.		11,15	0,07	11,25	11,05		I.S.C.				
I.G. Modal											
Class. H.R.B. Modal		A-2-6				Dens. "In Situ" Média		1,784			
Valores de Projeto						$Empolamento = \frac{X_{MAX}}{X_{IN SITU}}$ $Empolamento = (1.996 / 1.784) = 1,12$ $Empolamento Adotado = 1,30$					
$X \text{ max} = \bar{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma$											
$X \text{ min} = \bar{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$											

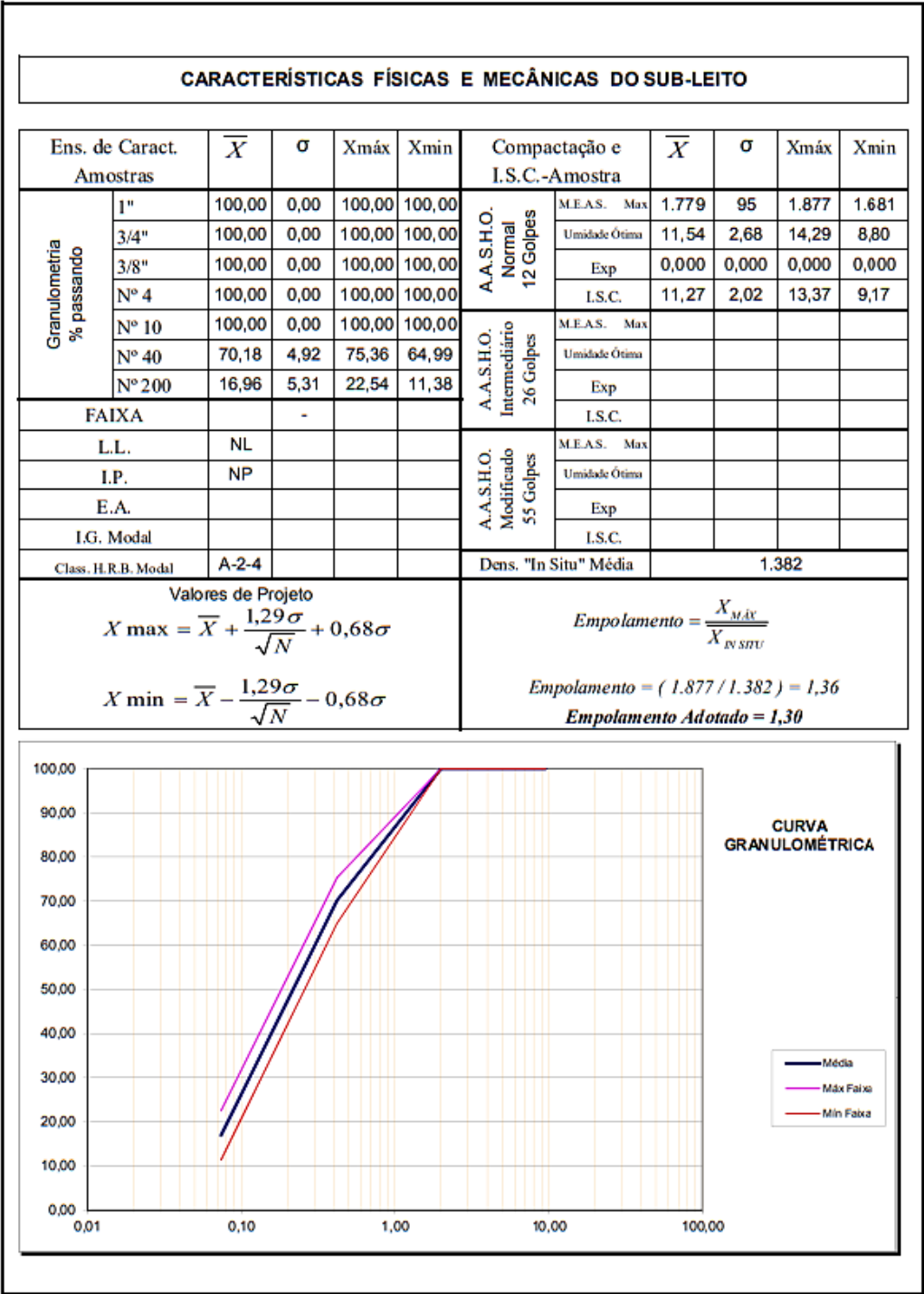








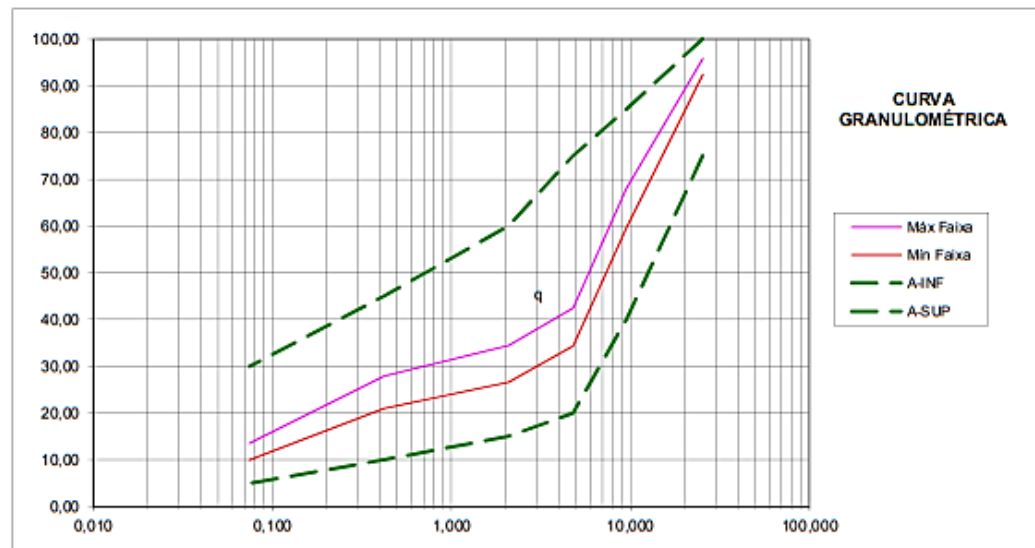




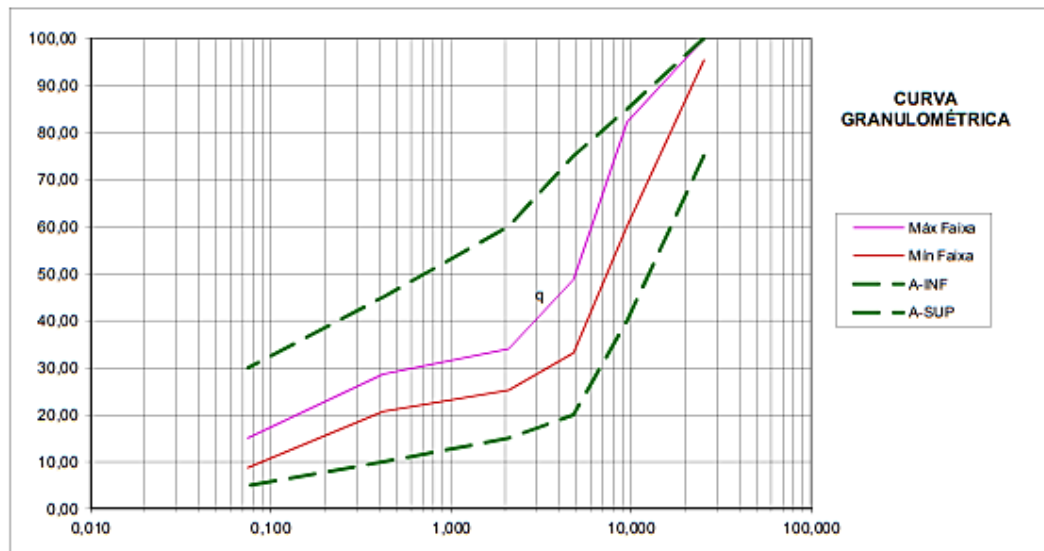
2 Resumo dos Ensaio da Sub-base e Base

2.1 Jazida 01

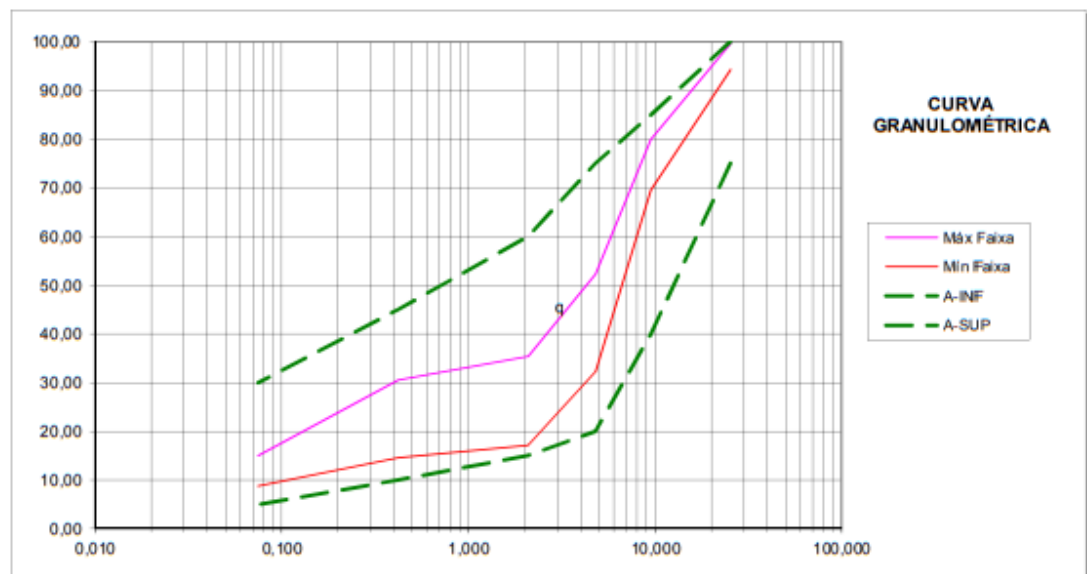
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DE JAZIDAS											
Jazida 01											
Material		LATERITA ARENOSA AMARELA									
Localização		16,46 KM DA Estaca 00									
Distância ao Eixo											
Proprietário		LEILA CAMARGO DA COSTA									
Endereço do Proprietário		-									
Benfeitorias		-									
Tipo de Vegetação		-									
Area		97.200 m ²									
Volume do Expurgo		19.440 m ³									
Volume Utilizável		114.696 m ³									
Espessura Média Utilizável		1,18 m									
Utilização		SUB-BASE									
Malhas		30 x 30 m									
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS											
Ens. de Caract. Amostras		$\overline{X}$	σ	Xmáx	Xmin	Compactação e I.S.C.-Amostra	$\overline{X}$	σ	Xmáx	Xmin	
Granulometria % passando	1"	94,13	2,15	95,83	92,42	A.A.S.H.O. Normal 12 Golpes	M.E.A.S. Máx				
	3/4"	89,15	2,50	91,13	87,17		Unidade Ótima				
	3/8"	63,78	5,32	67,99	59,56		Exp				
	Nº 4	38,41	5,10	42,45	34,37		I.S.C.				
	Nº 10	30,52	4,95	34,45	26,59	A.A.S.H.O. Intermediário 26 Golpes	M.E.A.S. Máx				
	Nº 40	24,46	4,37	27,92	20,99		Unidade Ótima				
	Nº 200	11,75	2,29	13,57	9,93		Exp				
FAIXA		A	-	A	A	A.A.S.H.O. Modificado 55 Golpes	M.E.A.S. Máx	2,009	35,40	2,039	1,979
L.L.		NL					Unidade Ótima	10,37	0,69	10,95	9,79
I.P.		NP					Exp	0,000	0,000	0,000	0,000
E. A.		26,47	0,91	27,34	25,60		I.S.C.	63,63	5,62	68,35	58,91
I.G. Modal											
Class. H.R.B. Modul		A-1-A				Desg. a Abrasão "Los Angeles"					
Valores de Projeto $X_{\max} = \overline{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma$ $X_{\min} = \overline{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$						Dens. "In Situ"					
						Unidade Natural					



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DE JAZIDAS											
Jazida 01 + 2% Cimento											
Material		LATERITA ARENOSA AMARELA									
Localização		16,46 km da Estaca 00									
Distância ao Eixo											
Proprietário		LEILA CAMARGO DA COSTA									
Endereço do Proprietário		-									
Benfeitorias		-									
Tipo de Vegetação		-									
Area		97.200 m2									
Volume do Expurgo		19.440 m3									
Volume Utilizável		114.696 m3									
Espessura Média Utilizável		1,18 m									
Utilização		SUB-BASE									
Malhas		30 x 30 m									
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS											
Ens. de Caract. Amostras		$\overline{X}$	σ	Xmáx	Xmin	Compactação e I.S.C.- Amostra		$\overline{X}$	σ	Xmáx	Xmin
Granulometria % passando	1"	97,63	2,07	99,93	95,34	A.A.S.H.O. Normal 12 Golpes	ME.A.S. Max				
	3/4"	93,72	3,85	97,99	89,45		Unidade Ótima				
	3/8"	71,08	9,95	82,12	60,04		Exp				
	Nº 4	40,96	7,05	48,78	33,13		I.S.C.				
	Nº 10	29,63	3,93	34,00	25,27	A.A.S.H.O. Intermediário 26 Golpes	ME.A.S. Max	1892	38,92	1933	1850
	Nº 40	24,70	3,58	28,67	20,73		Unidade Ótima	10,80	0,86	11,72	9,88
	Nº 200	11,94	2,83	15,09	8,80		Exp	0,000	0,000	0,000	0,000
FAIXA		A	-	A	A	A.A.S.H.O. Modificado 55 Golpes	ME.A.S. Max				
L.L.		NL					Unidade Ótima				
I.P.		NP					Exp				
E.A.							I.S.C.				
I.G. Modal											
Class. H.R.B. Modal		A-1-A				Desg. a Abrasão					
Valores de Projeto $X \text{ max} = \overline{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma$ $X \text{ min} = \overline{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$						"Los Angeles"					
						Dens. "In Situ"					
						Umidade Natural					

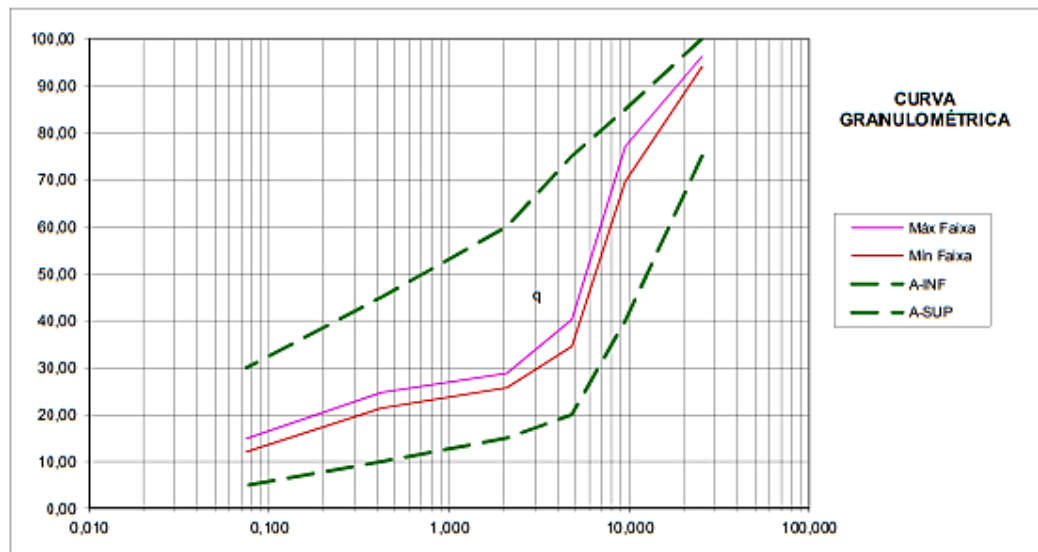


CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DE JAZIDAS											
Jazida 01 + 3% Cimento											
Material		LATERITA ARENOSA AMARELA									
Localização		16,46 km da Estaca 00									
Distância ao Eixo											
Proprietário		LEILA CAMARGO DA COSTA									
Endereço do Proprietário		-									
Benfeitorias		-									
Tipo de Vegetação		-									
Area		97.200 m ²									
Volume do Expurgo		19.440 m ³									
Volume Utilizável		114.696 m ³									
Espessura Média Utilizável		1,18 m									
Utilização		SUB-BASE									
Malhas		30 x 30 m									
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS											
Ens. de Caract. Amostras		$\overline{X}$	σ	X _{máx}	X _{min}	Compactação e I.S.C.-Amostra		$\overline{X}$	σ	X _{máx}	X _{min}
Granulometria % passando	1"	96,96	2,43	99,65	94,26	A.A.S.H.O. Normal 12 Golpes	M.E.A.S. Max				
	3/4"	93,06	4,37	97,91	88,20		Umidade Ótima				
	3/8"	74,74	4,69	79,95	69,54		Exp				
	Nº 4	42,28	9,02	52,29	32,27		I.S.C.				
	Nº 10	26,28	8,22	35,40	17,16	A.A.S.H.O. Intermediário 26 Golpes	M.E.A.S. Max	1903	96,57	2006	1800
	Nº 40	22,56	7,18	30,53	14,58		Umidade Ótima	11,04	1,07	12,19	9,90
	Nº 200	11,87	2,81	14,99	8,74		Exp	0,000	0,000	0,000	0,000
FAIXA		A	-	A	A	A.A.S.H.O. Modificado 55 Golpes	I.S.C.	123,36	6,07	129,96	116,75
L.L.		NL					M.E.A.S. Max				
I.P.		NP					Umidade Ótima				
E.A.							Exp				
I.G. Modal							I.S.C.				
Class. H.R.B. Modal		A-1-A					Desg. a Abrasão "Los Angeles"				
Valores de Projeto $X_{\max} = \overline{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma$ $X_{\min} = \overline{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$						Dens. "In Situ"					
						Umidade Natural					



2.2 Jazida 02

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DE JAZIDAS											
Jazida 02											
Material		LATERITA ARENOSA AMARELA									
Localização		13,63 km da Estaca 00									
Distância ao Eixo											
Proprietário		DR. FERNANDO									
Endereço do Proprietário		FONE: (63) 9284-7298									
Benfeitorias		-									
Tipo de Vegetação		-									
Área		113.400 m ²									
Volume do Expurgo		22.680 m ³									
Volume Utilizável		132.678 m ³									
Espessura Média Utilizável		1,17 m									
Utilização		SUB-BASE									
Malhas		30 x 30 m									
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS											
Ens. de Caract. Amostras		$\overline{X}$	σ	X _{máx}	X _{min}	Compactação e I.S.C.-Amostra		$\overline{X}$	σ	X _{máx}	X _{min}
Granulometria % passando	1"	95,16	1,39	96,25	94,07	A.A.S.H.O. Normal 12 Golpes	M.E.A.S. Max				
	3/4"	89,54	4,56	93,12	85,96		Unidade Ótima				
	3/8"	73,31	4,69	76,99	69,63		Exp				
	Nº 4	37,38	3,66	40,25	34,50		I.S.C.				
	Nº 10	27,28	2,00	28,85	25,71	A.A.S.H.O. Intermediário 26 Golpes	M.E.A.S. Max				
	Nº 40	23,05	2,15	24,74	21,36		Unidade Ótima				
	Nº 200	13,49	1,81	14,91	12,07		Exp				
FAIXA		A	-	A	A	A.A.S.H.O. Modificado 55 Golpes	M.E.A.S. Max	2,126	43,68	2,162	2,090
L.L.		NL					Unidade Ótima	10,21	1,20	11,21	9,21
I.P.		NP					Exp	0,000	0,000	0,000	0,000
E.A.		36,51	1,14	37,58	35,43		I.S.C.	73,55	5,27	77,91	69,19
I.G. Modal						Desg. a Abrasão					
Class. J.R.B. Modal		A-1-A				"Los Angeles"					
Valores de Projeto $X \text{ max} = \overline{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma$ $X \text{ min} = \overline{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$						Dens.					
						"In Situ"					
						Umidade Natural					



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DE JAZIDAS											
Jazida 02 + 2% Cimento											
Material		LATERITA ARENOSA AMARELA									
Localização		13,63 km da Estaca 00									
Distância ao Eixo											
Proprietário		DR. FERNANDO									
Endereço do Proprietário		FONE: (63) 9284-7298									
Benfeitorias		-									
Tipo de Vegetação		-									
Área		113.400 m2									
Volume do Expurgo		22.680 m3									
Volume Utilizável		132.678 m3									
Espessura Média Utilizável		1,17 m									
Utilização		SUB-BASE									
Malhas		30 x 30 m									
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS											
Ens. de Caract. Amostras		$\bar{X}$	σ	Xmáx	Xmin	Compactação e I.S.C.-Amostra		$\bar{X}$	σ	Xmáx	Xmin
Granulometria % passando	1"	96,09	1,01	97,21	94,97	A.A.S.H.O. Normal 12 Golpes	ME.A.S. Max				
	3/4"	91,61	1,29	93,04	90,18		Umidade Ótima				
	3/8"	67,73	3,93	72,10	63,37		Exp				
	Nº 4	37,14	4,54	42,19	32,10		I.S.C.				
	Nº 10	30,13	4,13	34,71	25,55	A.A.S.H.O. Intermediário 26 Golpes	ME.A.S. Max	1979	41,42	2024	1935
	Nº 40	25,04	4,85	30,43	19,66		Umidade Ótima	10,06	1,04	11,16	8,95
	Nº 200	12,84	1,36	14,35	11,34		Exp	0,000	0,000	0,000	0,000
FAIXA		A	-	A	A	A.A.S.H.O. Modificado 55 Golpes	ME.A.S. Max				
L.L.		NL					Umidade Ótima				
LP.		NP					Exp				
E.A.							I.S.C.				
I.G. Modal						Desg. a Abrasão					
Class. H.R.B. Modal		A-1-A				"Los Angeles"					
Valores de Projeto $X \text{ max} = \bar{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma$ $X \text{ min} = \bar{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$						Dens.					
						"In Situ"					
						Umidade Natural					

