

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Vítor Freitas Almada de Oliveira

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA A VIA DE LIGAÇÃO
ENTRE A MG-050 E A MG-341 EM PIUMHI-MG**

Piumhi - MG

2025

Vítor Freitas Almada de Oliveira

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA A VIA DE LIGAÇÃO
ENTRE A MG-050 E A MG-341 EM PIUMHI-MG**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Thiago Pastre Pereira

Piumhi - MG

2025

O48d Oliveira, Vitor Freitas Almada de.
Dimensionamento de pavimento flexível para a via de
ligação entre a MG-050 e a MG-341 em Piumhi-MG
[manuscrito] / Vitor Freitas Almada de Oliveira. – 2025.
68 f. : il. color.

Orientador: Thiago Pastre Pereira.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto
Federal Minas Gerais. *Campus Piumhi*, 2025.

1. Pavimentos flexíveis. 2. Pavimentos - dimensionamento.
3. Tráfego - estudo. I. Pereira, Thiago Pastre. II. Instituto
Federal de Minas Gerais. *Campus Piumhi*. III. Título.

CDD 625.8

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Piumhi
Diretoria de Ensino
Docentes Campus Avançado Piumhi
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi - MG
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

Vitor Freitas Almada de Oliveira

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA A VIA DE LIGAÇÃO
ENTRE A MG-050 E A MG-341 EM PIUMHI-MG**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 05 de novembro de 2025 pela banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Pastre Pereira, Professor**, em 06/11/2025, às 14:50, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Jeferson Monteiro de Andrade, Professor**, em 06/11/2025, às 14:56, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Filipe Freire Gomes, Fiscal de Contrato Substituto(a)**, em 07/11/2025, às 07:04, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gean Abner Ferreira de Sousa, Professor EBTT**, em 11/11/2025, às 12:20, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2497055** e o código CRC **8B895384**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida, aos meus pais por terem me dado todo o suporte ao longo dessa jornada, à minha namorada, aos meus familiares e amigos pelo apoio, e pelo TRIO que tornou essa caminhada menos difícil.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de caso para o dimensionamento de um pavimento flexível para a via de ligação entre as rodovias MG-050 e MG-341, em Piumhi-MG. O objetivo principal é aplicar a metodologia empírica do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para determinar uma estrutura de pavimento adequada às solicitações de tráfego e às condições dos materiais locais. Para isso, o método consistiu na realização de um estudo de tráfego por meio de contagem volumétrica classificada para a determinação do Número "N", e na caracterização normativa das camadas do pavimento (subleito, sub-base e base), adotando-se os valores mínimos de suporte (CBR) preconizados pelas normas técnicas. Os resultados indicaram a necessidade de uma estrutura robusta, composta por 10 cm de revestimento asfáltico, 15 cm de base e 118 cm de sub-base, uma consequência direta da combinação de um tráfego classificado como extremamente pesado e de uma fundação de baixíssima capacidade de suporte. Conclui-se que a metodologia do DNIT, quando aplicada a condições de contorno severas, resulta em uma solução estruturalmente segura, porém economicamente onerosa, evidenciando a importância de investigações geotécnicas aprofundadas em projetos executivos para a otimização das espessuras e custos da obra.

Palavras-chave: pavimentos flexíveis; pavimentos - dimensionamento; tráfego - estudo.

ABSTRACT

This work presents a case study on the design of a flexible pavement for the connecting route between highways MG-050 and MG-341, in Piumhi-MG, Brazil. The main objective is to apply the empirical methodology of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) to determine a suitable pavement structure for the local traffic loads and material conditions. To this end, the method consisted of conducting a traffic study through classified volumetric counts to determine the 'N' number, and the normative characterization of the pavement layers (subgrade, sub-base, and base) by adopting the minimum support values (CBR) established by technical standards. The results indicated the need for a robust structure, composed of a 10 cm asphalt concrete surface course, a 15 cm base, and a 118 cm sub-base. This is a direct consequence of the combination of traffic classified as extremely heavy and a foundation with a very low bearing capacity. It is concluded that the DNIT methodology, when applied to severe boundary conditions, results in a structurally safe but costly solution, highlighting the importance of in-depth geotechnical investigations in final design projects to optimize layer thicknesses and construction costs.

Keywords: Flexible Pavements; Pavement – Design; Traffic - Study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção Transversal do Pavimento Flexível	18
Figura 2 - Seção Transversal do Pavimento Rígido	19
Figura 3 - Prensa para Índice de Suporte California.....	23
Figura 4 - Página Inicial do DNIT	26
Figura 5 - Parte inferior da página inicial	26
Figura 6 - Dados abertos do DNIT	27
Figura 7 – Pesagem do DNIT	27
Figura 8 - Dados de Pesagem do DNIT	28
Figura 9 - Fatores de Equivalência de Operação	32
Figura 10 - Relação entre altura média anual de chuva (mm) com o Fator Climático	34
Figura 11 - Tabela 32 do Manual de Pavimentação	36
Figura 12 – Ábaco de dimensionamento.....	37
Figura 13 - Tabela 31 do Manual de Pavimentação	38
Figura 14 - Fluxograma.....	43
Figura 15 - Trajeto entre MG-050 e MG-341	44
Figura 16 - Local de análise do tráfego.....	45
Figura 17 - Espessura do Revestimento determinado.....	47
Figura 18 - Relação CBR x h20.....	49
Figura 19 – Veículo tipo Caminhão.....	56
Figura 20 - Veículo tipo Bi Trem Articulado.....	56
Figura 21 - Continuação da Figura 20	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos mínimos de materiais para os materiais das camadas	24
Tabela 2 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO	32
Tabela 3 - Fatores de equivalência de carga do USACE	33
Tabela 4 - Critérios para seleção dos materiais do pavimento	35
Tabela 5 - Fator de Carga Calculado	45
Tabela 6 - Fator de Eixo Calculado	46

LISTA DE SIGLAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBR – California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ESRD – Eixo Simples de Roda Dupla

ESRS – Eixo Simples de Rodagem Simples

ETD – Eixo Tandem Duplo

ETT – Eixo Tandem Triplo

FC – Fator de Carga

FE – Fator de Eixo

FR – Fator Regional

FV – Fator Veículo

HRB – Highway Research Board

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE SISEMA – Infraestrutura de Dados Especiais do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais

IG – Índice de Grupo

IP – Índice de Plasticidade

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

ISC – Índice de Suporte Califórnia

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

PSI – Present Serviceability Index (Índice de Serventia Atual)

SN – Structural Number (Número Estrutural)

SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UCP – Unidade de carro de Passeio

USACE – United States Army Corps of Engineers

UTM – Unidade de Tráfego Misto

VDMa – Volume Médio Diário Anual

VDMd – Volume Médio Diário em um Dia da Semana

VDMm – Volume Médio Diário Mensal

VDMs – Volume Médio Diário Semanal

VMD – Volume Médio Diário

vpd – veículo por dia

vph – veículo por hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	JUSTIFICATIVA	13
3	OBJETIVOS	15
3.1	OBJETIVOS GERAIS	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	PAVIMENTOS.....	16
4.1.1	Tipos de Pavimentos	17
4.2	ESTUDO GEOTÉCNICO.....	20
4.2.1	Estudos do Subleito.....	20
4.2.2	Estudos de Ocorrências de Materiais para Pavimentação	23
4.3	ESTUDO DO TRÁFEGO.....	24
4.3.1	Veículos adotados na Classificação do DNIT	25
4.3.2	Volume de Tráfego	28
4.3.3	Contagem Volumétrica	29
4.3.4	Determinação do número “N”	30
4.4	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO DO DNER.....	34
4.4.1	Parâmetros de Entrada para o Dimensionamento	35
4.4.2	Dimensionamento do Pavimento	36
5	METODOLOGIA	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6.1.1	Apresentação dos Dados de Entrada para o Dimensionamento	44
6.1.2	Dimensionamento da Estrutura do Pavimento	46
7	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE A – FOTOS EXEMPLOS DOS DADOS COLETADOS.....	56
	APÊNDICE B – DADOS DO TRÁFEGO.....	58
	APÊNDICE C – MAPA COM ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO ANUAL DE MINAS GERAIS.....	62
	ANEXO A – FIGURA 13 DO MANUAL DE ESTUDO DE TRÁFEGO, DNIT 2006	63
	ANEXO B – BOLETIM DE SONDAGEM – MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO	68

INTRODUÇÃO

A infraestrutura viária urbana desempenha um papel crucial no desenvolvimento socioeconômico e na qualidade de vida das cidades, garantindo a mobilidade de pessoas e o escoamento de bens e serviços. No município de Piumhi-MG, a malha viária assume uma função estratégica na logística regional, e a via de ligação entre as rodovias MG-050 e MG-341 se destaca como uma artéria fundamental, utilizada principalmente por veículos de grande porte como uma rota de desvio para evitar o tráfego na área central.

Atualmente, a ausência de um pavimento adequadamente projetado para suportar as solicitações deste tráfego pesado impõe uma série de desafios. A condição precária da via resulta em dificuldades de trafegabilidade, aumento dos custos operacionais para os transportadores e riscos à segurança dos usuários. Para a comunidade local, os impactos negativos se manifestam na forma de poeira em períodos de estiagem e lama em períodos chuvosos, além de forçar, como alternativa, o fluxo de caminhões pelas vias centrais da cidade, que não foram projetadas para tal finalidade, gerando congestionamentos e a deterioração prematura de outros pavimentos urbanos.

Diante do exposto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade técnica de apresentar uma solução de engenharia para um problema logístico e urbano real. A aplicação de um método de dimensionamento consolidado permite transformar uma necessidade da comunidade em um projeto tecnicamente fundamentado, que pode servir de base para futuras intervenções do poder público.

O desenvolvimento deste trabalho partiu da aplicação da metodologia de dimensionamento do DNIT a um estudo de caso real em Piumhi-MG. A pesquisa iniciou-se com a caracterização do tráfego local por meio de uma contagem volumétrica classificada, que, associada a fatores de carga e a um fator regional específico, permitiu a determinação do número de solicitações do eixo-padrão (Número "N"). Em seguida, procedeu-se à caracterização normativa dos materiais, adotando-se os valores mínimos de suporte (CBR) preconizados pelas normas para as camadas de subleito, sub-base e base. Com estes parâmetros de entrada, aplicou-se o método de dimensionamento, que culminou na definição de uma estrutura de pavimento de espessura considerável. O resultado evidencia como a combinação de um tráfego severo com uma fundação de baixa capacidade de suporte, segundo uma abordagem conservadora, impacta diretamente a solução final, reforçando a importância da metodologia de engenharia para garantir a durabilidade da infraestrutura.

O trabalho está estruturado em sete capítulos. O presente capítulo introduz o tema, o problema e os objetivos da pesquisa. O Capítulo 0 apresenta a justificativa detalhada do estudo. O Capítulo 0 apresenta os objetivos gerais e específicos do trabalho. O Capítulo 0 desenvolve a fundamentação teórica que dá suporte à pesquisa. O Capítulo 0 descreve a metodologia empregada para a coleta de dados e o dimensionamento. No Capítulo 0, são apresentados, analisados e discutidos os resultados do dimensionamento. Finalmente, o Capítulo 0 expõe as conclusões do estudo, as limitações encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

JUSTIFICATIVA

As estradas são as artérias que conectam nosso país, essenciais para o ir e vir de pessoas, para o transporte de mercadorias e para o desenvolvimento de tantas regiões. No entanto, quem utiliza as rodovias brasileiras com frequência sabe que a qualidade dos pavimentos nem sempre é a ideal. Muitos trechos se encontram desgastados, o que não só gera desconforto e insegurança para quem dirige, mas também causa prejuízos, como o aumento do consumo de combustível e danos aos veículos. Tais problemas acarretam um ônus financeiro para a sociedade, uma vez que o aumento nos custos de transporte se reflete diretamente no preço final dos produtos e serviços ao consumidor.

É comum vermos reparos sendo feitos, mas muitas vezes são soluções rápidas, que não corrigem as deficiências estruturais do pavimento, e logo os buracos e as irregularidades voltam a aparecer. Por isso, é tão importante pensar na qualidade do pavimento desde o projeto. Um bom dimensionamento, que leve em conta o volume de tráfego esperado, o tipo de solo da região e os materiais que serão utilizados, é o primeiro passo para garantir maior durabilidade e menor manutenção futura.

Assim, objetiva-se um estudo técnico para dimensionar o pavimento flexível de um trecho importante da região, que liga a MG-050 e a MG-341. A MG- funciona como uma espinha dorsal logística e econômica, conectando a Região Metropolitana de Belo Horizonte à divisa com São Paulo, passando pelo Centro-Oeste e Sudoeste do estado. A MG-341 serve diretamente a cidades como Piumhi e São Roque de Minas, além de ser caminho para a Serra da Canastra, um destino turístico importante, e também rota para escoar a produção agrícola e de laticínios da região. A existência de uma ligação eficiente entre essas rodovias, dotada de um pavimento de qualidade, é fundamental para o desenvolvimento regional. A infraestrutura de transporte é uma condição essencial para dinamizar a economia e favorecer o investimento, impactando diretamente no crescimento do país (MARTINS; PARREIRA; VIEIRA, 2017)

O dimensionamento será conduzido de acordo com o método estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), por ser esta a metodologia normatizada pelo órgão federal responsável pela infraestrutura viária no Brasil. A aderência a uma metodologia de dimensionamento sistemática, como a preconizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), é de fundamental importância, especialmente em projetos de vias que historicamente não receberam planejamento adequado. A aplicação de um método normatizado assegura a otimização dos investimentos públicos e a execução de uma estrutura de pavimento com maior durabilidade,

projetada para suportar as solicitações do tráfego ao longo de sua vida útil e mitigar a ocorrência de falhas prematuras (DNIT, 2006).

A relevância deste estudo reside na aplicação de uma metodologia de engenharia consolidada para propor uma solução técnica a um problema de infraestrutura real e estratégico para a malha viária municipal. A adequação da infraestrutura de transporte é uma condição essencial para dinamizar a economia, favorecer o investimento e impactar diretamente no desenvolvimento regional (MARTINS; PARREIRA; VIEIRA, 2017). Nesse sentido, os resultados obtidos neste trabalho fornecem uma base técnica para futuras intervenções no trecho, demonstrando como a engenharia de pavimentos é uma ferramenta fundamental para a otimização de recursos e para a promoção do desenvolvimento. A implementação de um pavimento adequadamente dimensionado resulta em benefícios tangíveis para a comunidade, como a melhoria da segurança viária, a redução dos custos logísticos e, conseqüentemente, o aprimoramento da qualidade de vida da população.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho é dimensionar uma estrutura de pavimento flexível para a via de ligação urbana entre a MG-050 e a MG-341 em Piumhi-MG, aplicando a metodologia de dimensionamento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um estudo de tráfego na via para quantificar o volume e a composição da frota, determinando o Número "N" de solicitações do eixo-padrão;
- Aplicar a metodologia de dimensionamento para determinar as espessuras de cada camada da estrutura do pavimento;
- Apresentar e discutir os resultados obtidos, analisando criticamente a estrutura de pavimento resultante e as implicações das premissas adotadas no projeto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.3 Pavimentos

A estrutura do pavimento é crucial na malha viária, pois sustenta o peso fixo e móvel dos veículos, distribuindo-o ao solo abaixo. Essa composição é vital para garantir bem-estar, proteção e bom funcionamento durante sua vida útil (FERREIRA, 2021). Ela consiste em diversas camadas, cada qual com uma espessura e qualidades mecânicas próprias, que juntas resistem a vários estresses, como forças verticais, trepidações e mudanças de temperatura (TAVARES, 2014).

No cenário brasileiro, o desenvolvimento das técnicas de pavimentação ganhou força após a Segunda Guerra Mundial, quando engenheiros do país começaram a trocar experiências com colegas norte-americanos. Essa troca de conhecimento ajudou a melhorar as práticas de construção e os materiais usados nas estradas. Desde então, as vias pavimentadas têm sido fundamentais para o progresso social e econômico do Brasil, unindo regiões e melhorando a vida da população (SANTOS, 2017).

Na visão de Almeida (1986), o pavimento é colocado sobre o solo já preparado e tem como função principal receber e espalhar o peso do tráfego, oferecendo segurança, conforto e economia. Para desempenhar bem essa função, o pavimento deve resistir ao desgaste do uso contínuo, mantendo ao longo do tempo boa aderência, uniformidade e durabilidade.

Os pavimentos podem ser classificados pela flexibilidade dos materiais que os compõem, dividindo-se em rígidos, semirrígidos e flexíveis. Para escolher o tipo ideal, é preciso considerar o volume de tráfego, as características do solo, a disponibilidade de materiais e os custos do projeto (FERREIRA, 2021). Conforme Balbo (2017), pavimentar uma via não é só suportar o peso dos veículos, mas também melhorar o tráfego, oferecendo uma superfície mais uniforme, silenciosa, segura e agradável — o que é muito importante nas cidades.

No Brasil, o tipo de estrutura de pavimento predominante é a flexível, comumente associada ao revestimento asfáltico (DNIT, 2006). A designação "flexível" refere-se ao seu comportamento estrutural sob a aplicação de cargas: as tensões são distribuídas em parcelas elásticas para as camadas inferiores, diminuindo em profundidade. Dessa forma, a carga concentrada na superfície é dissipada ao longo da base, sub-base e reforço, chegando ao subleito com uma intensidade compatível com a sua capacidade de suporte. Essa escolha se justifica por sua boa adaptabilidade às deformações do subleito e por, geralmente, apresentar um custo inicial de implantação inferior ao dos pavimentos rígidos. No entanto, a forte dependência do transporte rodoviário, responsável por cerca de 58% do transporte de cargas no país, juntamente

com a falta de manutenção e fiscalização, tem levado à rápida deterioração de muitas estradas (MENDES, 2019).

1.3.1 Tipos de Pavimentos

Os pavimentos das rodovias se dividem em três tipos principais – flexíveis, semirrígidos e rígidos – dependendo de sua composição e de como são construídas. As estradas flexíveis, por exemplo, espalham o peso dos veículos por todas as suas camadas e se flexionam um pouco sob a pressão. Nelas, é normal usar materiais como pedra britada misturada ou solo com pedras, junto com uma cobertura de asfalto.

Já as estradas semirrígidas têm uma base fortalecida com substâncias que endurecem, como a mistura de solo e cimento, e uma camada de asfalto por cima. Isso as torna mais rígidas e menos propensas a se deformar. Enquanto isso, as estradas rígidas são feitas com placas de concreto de cimento que, devido à sua elevada rigidez e resistência à flexão, absorvem a maior parte das tensões e distribuem as cargas por uma grande área do subleito, funcionando como uma laje.

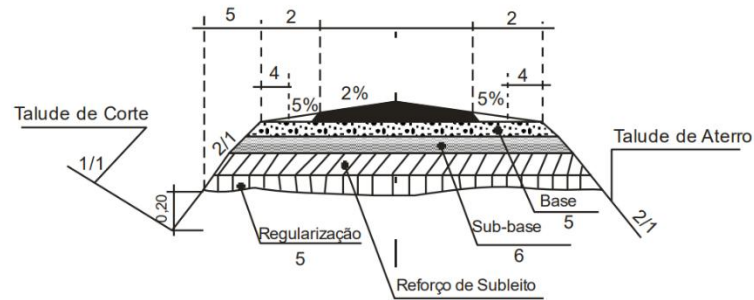
Para decidir qual tipo de estrada é o melhor, é preciso pensar em quanta gente vai passar por ela, como é o terreno e o que se espera do projeto em termos de custo e eficiência (DNIT, 2010).

1.3.1.1 Pavimentos flexíveis

Os pavimentos flexíveis são estruturas compostas por múltiplas camadas, como Reforço do Subleito, Sub-base e Base, construídas sobre o subleito regularizado. Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), a concepção dessas camadas exige que elas possuam características geotécnicas progressivamente superiores às da camada inferior — como um Índice de Suporte Califórnia (ISC) mais elevado — de modo a compor uma estrutura capaz de suportar as cargas do tráfego.

Conforme apresentado por Senço (2007), o pavimento flexível é constituído, de forma geral, pelas seguintes camadas: subleito, reforço do subleito (quando necessário), sub-base, base e revestimento, conforme Figura 1:

Figura 1 - Seção Transversal do Pavimento Flexível



Fonte: DNIT, 2006.

Cada uma dessas camadas possui um papel específico na estrutura. O subleito é a camada mais inferior, sobre a qual todo o pavimento será apoiado. Quando suas características geotécnicas são insuficientes, pode-se incluir o reforço do subleito, que consiste em uma camada granular adicional capaz de melhorar sua resistência. Acima dele, posiciona-se a sub-base, cuja execução pode ser adotada por razões técnicas ou econômicas, principalmente quando se deseja reduzir a espessura da base que possui um material mais nobre. A base, por sua vez, é responsável por suportar e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego. Por fim, o revestimento é a camada superior, construída com agregados e ligantes asfálticos, sendo diretamente responsável por resistir ao desgaste superficial e às ações mecânicas do tráfego (SENÇO, 2007; LEITE, 2018).

Os materiais empregados no revestimento asfáltico podem ser aplicados por penetração ou por mistura, sendo essa camada fundamental para garantir as condições de rolamento adequadas à via. Somadas, todas essas camadas visam atender aos requisitos estruturais e operacionais exigidos pelo tráfego, com durabilidade e o menor custo possível, além de proteger as camadas inferiores da ação direta das cargas aplicadas (SENÇO, 2007; LEITE, 2018).

1.3.1.2 Pavimento semirrígido

Os pavimentos semirrígidos compartilham uma configuração similar aos pavimentos flexíveis, englobando camadas como o subleito, o reforço do subleito, a sub-base granular, a base cimentada e a capa asfáltica. O ponto crucial de divergência reside na composição da base: nos pavimentos flexíveis, ela é constituída por materiais granulares, enquanto nos semirrígidos emprega-se uma base estabilizada com aglomerantes hidráulicos, a exemplo do cimento Portland ou da cal hidratada. Essa abordagem proporciona maior solidez

à estrutura, aumentando sua aptidão para resistir a cargas mecânicas e promovendo a longevidade do pavimento (BERNUCCI ET AL, 2008).

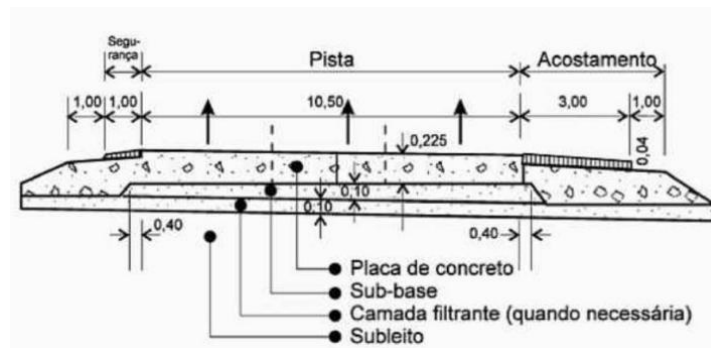
Cada camada cumpre uma função técnica particular. O subleito serve como alicerce da estrutura; em certos casos, ele pode ser fortalecido para otimizar suas propriedades geotécnicas. A sub-base age como um suporte adicional, atenuando parte das tensões provocadas pelo trânsito. A base cimentada, por sua vez, visa distribuir as tensões de forma mais eficiente para as camadas inferiores. A capa asfáltica — também encontrada em pavimentos flexíveis — protege as demais camadas contra o impacto direto do tráfego, além de assegurar níveis satisfatórios de conforto e segurança aos usuários.

1.3.1.3 Pavimento rígido

Um pavimento rígido, no contexto de estradas, destaca-se pela robustez do revestimento, que praticamente absorve todas as tensões do tráfego, aliviando as camadas inferiores. Diferente dos pavimentos flexíveis, que se adaptam aos esforços, os rígidos funcionam como uma estrutura única de concreto, espalhando as tensões por uma área maior e protegendo o solo (DNIT, 2006). Essa característica é ideal para vias com tráfego intenso ou cargas repetidas.

A estrutura básica consiste em quatro partes: o subleito (terreno natural), uma camada filtrante (se necessária) para drenagem, a sub-base que ajuda na sustentação (geralmente brita ou solo-brita com cimento), e a placa de concreto, que serve de base e revestimento. Essa placa, feita de cimento Portland, agregados, areia e água, é crucial, pois recebe e distribui os esforços (DNIT, 2005).

Figura 2 - Seção Transversal do Pavimento Rígido



Fonte: Suzuki, 2023.

Bernucci et al (2008) explica que a espessura da placa de concreto depende da sua resistência à flexão e das características das camadas de suporte. Elas podem ter ou não armadura de aço, conforme a necessidade. Em alguns casos, barras de ligação controlam

fissuras e distribuem a carga entre as juntas. A durabilidade e a baixa manutenção tornam o pavimento rígido eficiente, apesar do custo inicial mais alto.

É comum vê-lo em rodovias movimentadas, pistas de aeroportos, áreas industriais e infraestruturas que precisam de alta performance. No Brasil, a Rodovia dos Imigrantes, Anchieta e o Rodoanel Mário Covas, em São Paulo, são bons exemplos, onde o concreto garante durabilidade contra o desgaste de veículos pesados (ALMEIDA, 2015; FILHO, 2018). A escolha desse pavimento envolve análise técnica, econômica e operacional, buscando equilíbrio entre desempenho, custo inicial e manutenção futura.

1.4 Estudo Geotécnico

Os estudos geotécnicos representam uma fase primordial no projeto de pavimentação, pois visam o reconhecimento e a caracterização dos solos e materiais que comporão a estrutura do pavimento. Conforme o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), estes estudos são divididos em duas frentes principais: a análise do subleito, que servirá de fundação, e a prospecção de jazidas que fornecerão os materiais para as camadas de reforço, sub-base e base.

1.4.1 Estudos do Subleito

O estudo do subleito tem como objetivo fundamental o reconhecimento dos diferentes tipos de solos ao longo do traçado da rodovia, permitindo a caracterização de suas camadas para o correto dimensionamento do pavimento. Este estudo é realizado em duas fases distintas: uma prospecção de campo e uma fase de ensaios de laboratório (DNIT, 2006).

De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) a primeira fase consiste na execução de sondagens, geralmente com trado, no eixo e nos bordos da plataforma, com um espaçamento longitudinal que varia de 100 a 200 metros, podendo ser reduzido em trechos de grande variação de solo. A profundidade das sondagens é, de modo geral, de 0,60 m a 1,00 m abaixo do greide de regularização, podendo atingir 1,50 m para verificação do lençol freático ou de camadas rochosas. Durante a prospecção, realiza-se uma classificação expedita dos materiais, observando-se textura, cor e consistência, e coletam-se amostras para a fase seguinte.

Os materiais devem ser classificados de acordo com a textura, nos seguintes grupos:

- Bloco de rocha: pedaço isolado de rocha que tenha diâmetro superior a 1 m;
- Matação: pedaço de rocha que tenha diâmetro médio superior a 25 cm e inferior a 1 m;

- Pedra de mão: pedaço de rocha que tenha diâmetro médio compreendido entre 76 mm e 25 cm;
- Pedregulho: fração de solo que passa na peneira de 76 mm (3") e é retida na peneira de 2,0 mm (n° 10);
- Areia:
 - Grossa: fração do solo compreendida entre as peneiras de 2,0 mm (n° 10) e 0,42 mm (n°40);
 - Fina: fração de solos compreendida entre as peneiras de 0,42 mm (n°40) e 0,075 mm (n° 200);
- Silte e Argila: fração de solo constituída por grãos de diâmetro abaixo de 0,075 mm.

Além disso devem ser anotadas as presenças de mica e matéria orgânica, bem como a cor do solo. Tais informações são anotadas no Boletim de Sondagem (conforme Anexo B), contido na Tabela 25 do Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

A segunda fase compreende a realização de ensaios de laboratório com as amostras coletadas. Os ensaios são essenciais para a caracterização definitiva dos solos e incluem, principalmente, granulometria, limites de liquidez e plasticidade, compactação e o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR). Para o DNIT, o ensaio de compactação utilizado como referência é o AASHTO normal, e o ISC é determinado em corpos de prova moldados na umidade ótima e com 100% da densidade máxima correspondente a este ensaio. Os resultados desses ensaios são compilados e analisados, muitas vezes com tratamento estatístico, para definir o valor de suporte a ser utilizado no dimensionamento para cada segmento homogêneo da rodovia (DNIT, 2006).

1.4.1.1 Índice de Suporte Califórnia (CBR/ISC)

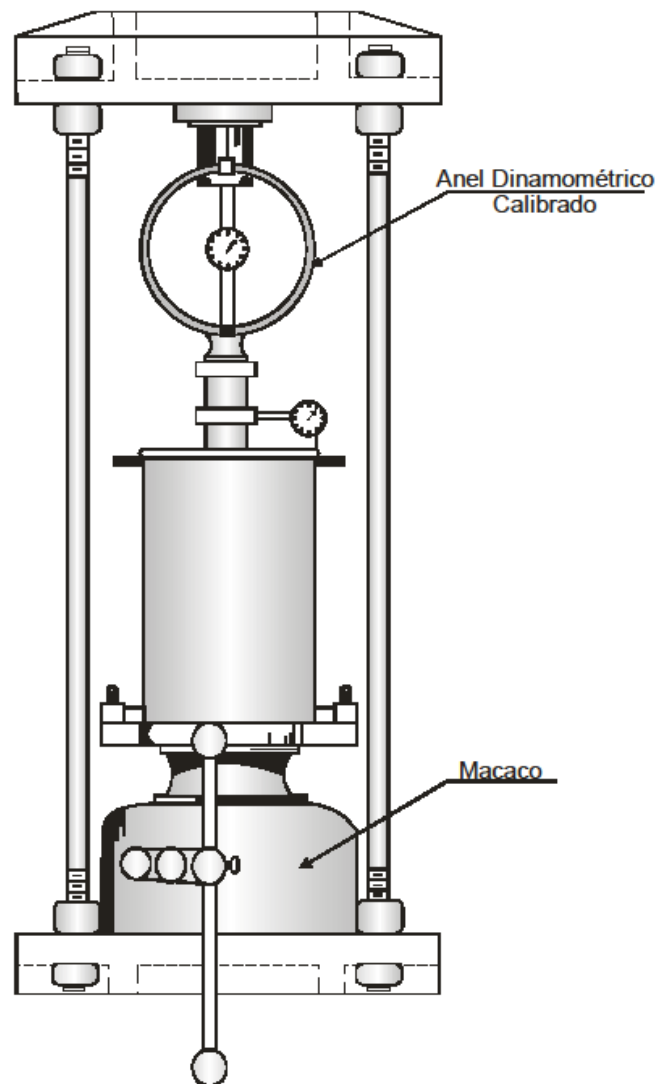
O Índice de Suporte Califórnia (CBR ou ISC) é um parâmetro empírico fundamental na engenharia de pavimentos, utilizado para avaliar a capacidade de suporte dos solos do subleito e dos materiais granulares das camadas de base e sub-base. O ensaio consiste em determinar a relação entre a pressão necessária para fazer um pistão padronizado penetrar em um corpo de prova de solo e a pressão requerida para causar a mesma penetração em uma brita padronizada de alta qualidade. O resultado dessa relação, expresso em porcentagem, é o que permite, por meio de correlações empíricas, dimensionar a espessura necessária do pavimento flexível em função das solicitações do tráfego (DNIT, 2006).

O procedimento do ensaio, conforme as diretrizes do DNIT, segue uma sequência rigorosa. Inicialmente, o material a ser ensaiado é compactado em um molde cilíndrico, usualmente em cinco camadas iguais, aplicando-se um número específico de golpes por camada (12 para subleito, 26 ou 55 para sub-base e base), com um soquete padronizado de 4,5 kg. São moldados diversos corpos de prova com diferentes teores de umidade para se caracterizar a curva de compactação do material. Em seguida, os corpos de prova compactados são submetidos a uma imersão em água por um período de quatro dias, uma etapa crucial que visa simular a condição de umidade mais desfavorável que o material poderá enfrentar em serviço, garantindo assim um dimensionamento seguro (DNIT, 2006).

Após o período de imersão, os corpos de prova são submetidos à penetração em uma prensa (Figura 3) a uma velocidade constante. Durante o ensaio, registram-se as pressões correspondentes a penetrações predeterminadas, usualmente 0,1” (2,54 mm) e 0,2” (5,08 mm), traçando-se uma curva pressão-penetração. O valor do CBR é então calculado para cada penetração pela fórmula:

$$CBR(\%) = \frac{\textit{Pressão aplicada}}{\textit{Pressão padrão}} \times 100 \qquad \text{Equação I}$$

Figura 3 - Prensa para Índice de Suporte Califórnia



Fonte: DNIT, 2006.

Para o dimensionamento, adota-se o maior valor de CBR obtido entre as duas penetrações. Por fim, o valor final do Índice de Suporte Califórnia a ser utilizado no projeto é aquele correspondente à umidade ótima de compactação do material (DNIT, 2006).

1.4.2 Estudos de Ocorrências de Materiais para Pavimentação

Paralelamente ao estudo do subleito, realiza-se o estudo de ocorrências, que visa localizar e caracterizar jazidas de materiais (solos, cascalhos, rochas) que possam ser utilizados na construção das camadas do pavimento. O objetivo é garantir o fornecimento de matéria-prima que atenda às especificações técnicas do projeto em volume e qualidade (DNIT, 2006).

Este estudo também é feito em fases, começando com uma prospecção preliminar. Com base em dados geológicos e pedológicos, identificam-se áreas com potencial. Nessas áreas, são feitos de 4 a 5 furos de sondagem para uma avaliação inicial, onde se coletam amostras para ensaios expeditos de laboratório (granulometria, limites de plasticidade, ISC, etc.). Uma ocorrência é considerada promissora se os materiais satisfazem as especificações ou se podem ser corrigidos por meio de misturas.

Uma vez que uma ocorrência é considerada técnica e economicamente viável na fase preliminar, passa-se para a prospecção definitiva. Nesta etapa, lança-se uma malha de sondagens mais adensada (a cada 30 m, por exemplo) sobre a área da jazida para uma caracterização detalhada e a cubagem precisa do volume de material aproveitável. Os ensaios laboratoriais são refeitos de forma mais completa para garantir a homogeneidade e a qualidade do material em toda a área de exploração (DNIT, 2006).

O Manual de Pavimentação estabelece os requisitos mínimos que os materiais de cada camada devem atender. Para a sub-base, exige-se um $ISC \geq 20\%$ e Índice de Grupo (IG) = 0. Para a base, os critérios são mais rigorosos, requerendo um $ISC \geq 80\%$ (podendo ser reduzido para até 60% em casos justificados), expansão máxima de 0,5%, limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$.

Tabela 1 - Requisitos mínimos de materiais para os materiais das camadas

Camada	ISC	Observação
Sub-base	$\geq 20\%$	Índice de Grupo (IG) = 0
Base	$\geq 80\%$ (podendo ser reduzido em até 60% com justificativa), expansão máxima de 0,5%	Limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

1.5 Estudo do Tráfego

A análise do fluxo é uma fase fundamental para planejamento, dimensionamento e manutenção das vias de circulação, uma vez que facilita a percepção do movimento de pessoas e mercadorias por um sistema viário. Para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, o estudo de tráfego visa assegurar que as vias disponham de condições de transporte de forma eficiente, segura e economista, garantindo boa operação do sistema no seu todo (DNIT, 2006).

A fim de alcançar esses fins, é empregada uma diversidade de métodos sistemáticos de coleta de dados. Esses métodos incluem tanto abordagens por entrevista, como é o caso da

pesquisa de origem e destino, quanto observações imediatas, como na contagem volumétrica, levantamento de velocidade e pesagem veicular. Contagens volumétricas, por exemplo, visam determinar a quantidade, tipo e sentido de movimento dos veículos em uma determinada área, sendo determinantes para o dimensionamento dos pavimentos e intervenções no sistema viário. As pesquisas de pesagem de veículos visam, por sua vez, obter dados relativo à carga por eixo, que são essenciais para o cálculo da vida útil dos pavimentos e para o controle de excesso de carga nas rodovias (DNIT, 2006).

Os estudos de fluxo também levam em consideração os chamados parâmetros macroscópicos — densidade, velocidade e volume —, que refletem as grandezas mais significativas da movimentação dos veículos e que permitem a percepção da fluidez do fluxo em via determinada (ANDRADE, 2012). Estes parâmetros definem o comportamento coletivo do fluxo de veículos, em oposição aos parâmetros microscópicos, que tratam de interações individuais entre os veículos, como distância e aceleração entre veículos. A classificação dos veículos nos estudos de fluxo também é fundamental, uma vez que diferentes tipos de veículos imponham diferentes exigências às estruturas viárias. Para o dimensionamento de pavimentos, por exemplo, é considerado não apenas o total de veículos, mas sua distribuição por classe de eixo, uma vez que veículos que têm múltiplos eixos (como Eixos Simples com Rodagem Dupla – ESRD ou Eixos Tandem de Rodagem Tripla – ETT) imponham impactos diferentes no pavimento em comparação aos veículos leves. A precisa definição e classificação dos veículos durante as contagens permitem converter esses dados em Números Nacionais de Eixos Padrão (NNP), que são empregados nos cálculos estruturais dos pavimentos.

1.5.1 Veículos adotados na Classificação do DNIT

Dentro do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), classificar veículos de carga é essencial para planejar estradas e definir regras de pesagem nas rodovias federais. O DNIT, seguindo o Manual de Estudo de Tráfego, apresenta uma lista de fabricantes de veículos, reunindo os principais tipos de veículos e combinações usados no Brasil, com o Peso Bruto Total (PBT) máximo permitido e a classe de cada um.

A silhueta de cada veículo é mostrada por desenhos, indicando como as unidades se conectam e o número de eixos e grupos de eixos, conforme o Anexo A. Assim, foram identificados desde veículos simples (ônibus, caminhões e carretas) até combinações maiores, como bi-trem, bitrem e rodotrem. Cada tipo tem um PBT máximo padrão, que guia tanto o projeto das estradas quanto a fiscalização do peso nas balanças (DNIT, 2006).

Além disso, o Manual de Estudo de Tráfego explica o que é rodagem, que é o número de pneus por eixo. Rodagem simples significa um pneu em cada lado do eixo, e rodagem dupla significa dois pneus. Essa diferença é muito importante para calcular a carga por roda e entender como os veículos afetam as estradas. No site do DNIT, na área de “Pesagem” (https://servicos.dnit.gov.br/dadosabertos/pt_BR/dataset/pesagem), encontra-se a lista de fabricantes e os postos de pesagem, garantindo que os dados dos fabricantes no país sejam transparentes e atualizados, a partir do passo a passo a seguir:

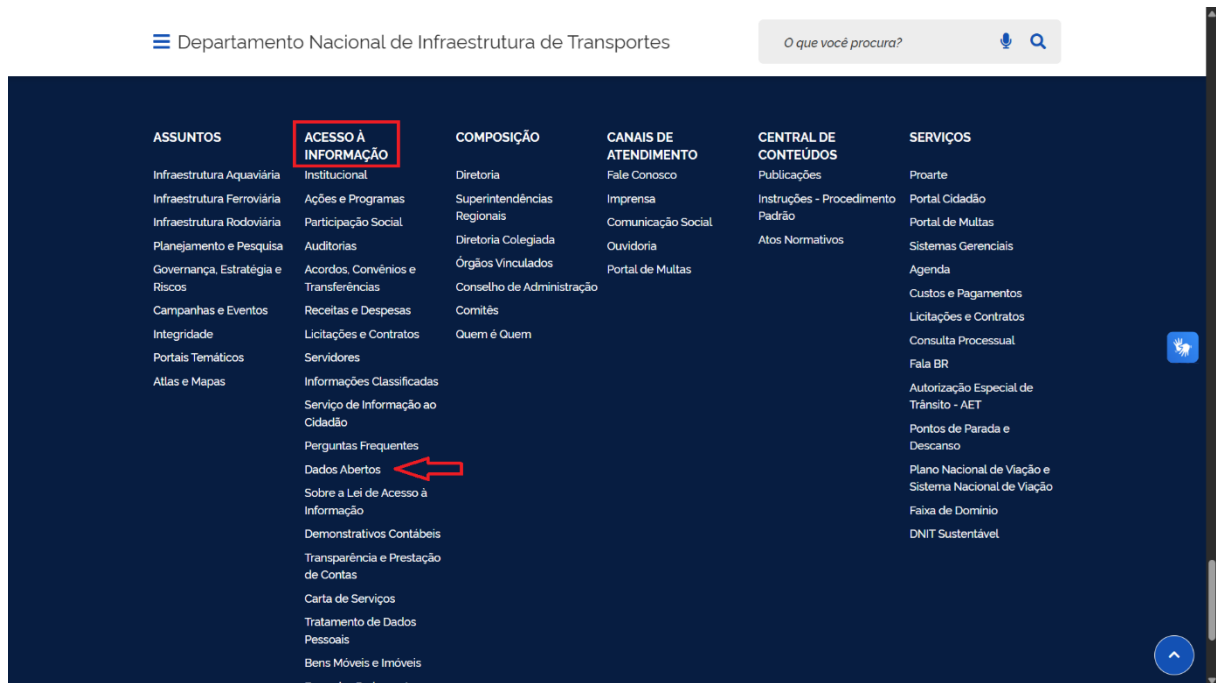
Figura 4 - Página Inicial do DNIT



Fonte: <https://servicos.dnit.gov.br>, acessado em 2025.

O primeiro passo é por meio de um navegador, pesquisar ‘Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes’. Após isso acessar o link oficial ‘www.gov.br’ em que será direcionado para um layout semelhante a Figura 4. Ao rolar a página até a parte inferior, no item ‘ACESSO À INFORMAÇÃO’ basta clicar na opção ‘Dados Abertos’.

Figura 5 - Parte inferior da página inicial



Fonte: <https://servicos.dnit.gov.br>, acessado em 2025.

Após isso basta escolher a opção ‘Conjunto de Dados’, e em seguida a opção pesagem onde se encontra dados dos fabricantes e dos postos de pesagem em todo o país.

Figura 6 - Dados abertos do DNIT

The screenshot shows the gov.br website interface. At the top, there is a navigation bar with the gov.br logo, 'Ministério dos Transportes', and various menu items like 'Órgãos do Governo', 'Acesso à Informação', 'Legislação', and 'Acessibilidade'. A search bar is present with the text 'O que você procura?'. Below the navigation, the breadcrumb trail reads 'Acesso à Informação > Dados Abertos'. The main heading is 'Dados Abertos', with publication and update dates: 'Publicado em 04/06/2020 19h51' and 'Atualizado em 23/12/2021 12h15'. There are social media sharing icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, and WhatsApp. A list of links is shown: 'Política de Dados Abertos', 'Conjunto de Dados' (highlighted with a red arrow), and 'Consultas Públicas'. At the bottom of this section, there are more social media sharing icons. Below this is a section titled 'Serviços que você acessou' with a calendar navigation showing 'SETEMBRO', 'AGOSTO', and 'JULHO'.

Fonte: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos> , acessado em 2025.

Figura 7 – Pesagem do DNIT

The screenshot shows the gov.br website interface. At the top, there is a navigation bar with the gov.br logo, 'Ministério dos Transportes', and various menu items like 'Órgãos do Governo', 'Acesso à Informação', 'Legislação', and 'Acessibilidade'. A search bar is present with the text 'O que você procura?'. Below the navigation, the breadcrumb trail reads 'Acesso à Informação > Dados Abertos > Conjuntos de Dados'. The main heading is 'Conjuntos de Dados', with publication and update dates: 'Publicado em 04/06/2020 20h01' and 'Atualizado em 15/12/2023 12h32'. There are social media sharing icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, and WhatsApp. A paragraph of text reads: 'Para ter acesso aos conjuntos de dados (datasets), em formato .csv, e os respectivos dicionários de dados basta clicar nos links abaixo:'. Below this, there are two sections: 'Todas as Bases:' with a link to 'Conjuntos de Dados', and 'Bases por Assunto:' with several links: 'Andamento de Obras', 'Condições do Pavimento', 'Contagem de Tráfego', 'Controle de Velocidade', 'Jurisdição de Vias', and 'Pesagem' (highlighted with a red arrow). At the bottom of this section, there are more social media sharing icons.

Fonte: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/conjuntos-de-dados> , acessado em 2025.

Figura 8 - Dados de Pesagem do DNIT

The screenshot shows the DNIT website interface. At the top, there is a navigation bar with the DNIT logo and links for 'Entrar', 'Registrar', 'Conjuntos de dados', 'Organizações', 'Grupos', and 'Sobre'. A search bar is located on the right. Below the navigation bar, the breadcrumb trail reads 'Organizações / DNIT - Departamento... / Pesagem'. The main content area is titled 'Pesagem' and includes a description: 'Planilha com dados obtidos de extratos oriundos das Unidades Móveis Operacionais (UMOs), por UF.' Underneath, there is a section 'Dados e recursos' with a list of datasets, each with an 'Explorar' button:

- Dicionário de Dados Pesagem**: Dicionário de dados da base pesagem - UMO (Unidades Móveis Operacionais)
- Pesagem - Junho/2024**: Base de dados de Unidades Móveis Operacionais (Pesagem). Em Junho de 2024.
- Pesagem - Dezembro/2023**: Base de dados de Unidades Móveis Operacionais (Pesagem). Em Dezembro de 2023.
- Pesagem - Julho/2022**: Base de dados de Unidades Móveis Operacionais (Pesagem). Em julho de 2022.
- Pesagem - Dezembro/2020**: Base de dados de Unidades Móveis Operacionais (Pesagem). Em dezembro de 2020.
- Painel Power BI - Postos de Pesagens**: Criado por DWIB/SEGDI/CGTI - Coordenação-Geral de Tecnologia da Informação...

At the bottom of the page, there is a list of tags: 'balanca', 'dnit', 'infraestrutura-rodov...', 'pesagem', 'rodovia', 'rodovias', and 'umo'. The page also shows a sidebar with 'Seguidores: 0' and 'Organização' information for 'DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes'.

Fonte: https://servicos.dnit.gov.br/dadosabertos/pt_BR/dataset/pesagem, acessado em 2025.

Em resumo, os veículos classificados pelo DNIT seguem um padrão rigoroso que inclui o número de eixos, a organização dos grupos de eixos, a rodagem e o PBT máximo. Com essa forma de trabalhar, o órgão consegue estimar o comportamento do tráfego e projetar seu crescimento para o dimensionamento do pavimento, posicionar os postos de pesagem e controlar o tráfego, mantendo a qualidade e a durabilidade das rodovias federais (DNIT, 2006).

1.5.2 Volume de Tráfego

O volume de tráfego é um dos parâmetros mais fundamentais nos estudos viários, sendo utilizado como base para o dimensionamento de pavimentos, análise de capacidade de vias, previsão de investimentos e planejamento de obras de infraestrutura. Ele é definido como o número de veículos que passa por uma determinada seção de uma via — ou faixa — em um dado intervalo de tempo. A unidade de medida mais comum é veículos por dia (vpd) ou veículos por hora (vph), a depender do nível de detalhamento exigido pela análise (DNIT, 2006).

Entre as formas de representação desse parâmetro, destaca-se o Volume Médio Diário (VMD), que corresponde à média de veículos que circulam em um trecho de via ao longo de 24 horas. Esse valor é calculado considerando um período representativo, normalmente de um ano, sendo designado como Volume Médio Diário Anual (VMDa). A partir do VMD, é possível avaliar a demanda da via, justificar intervenções, definir prioridades de investimento, estimar receitas de pedágio e até mesmo prever taxas de acidentes (DNIT, 2006).

Além do VMDa, o DNIT também define variações temporais importantes do volume de tráfego, como o Volume Médio Diário Mensal (VMDm), o Volume Médio Diário Semanal (VMDs) e o Volume Médio Diário em um Dia da Semana (VMDd). Essas subdivisões são úteis quando não é possível realizar uma contagem contínua ao longo de um ano. Elas servem como amostras que, posteriormente, podem ser ajustadas por meio de fatores de correção para estimar o VMDa. É importante que esses valores sejam sempre acompanhados da indicação do período de coleta — mês ou dia da semana — para garantir precisão na interpretação.

O volume de tráfego pode incluir veículos que trafegam em apenas um sentido, nos dois sentidos ou em uma faixa específica da via, dependendo do objetivo da análise. Quando se considera o total de veículos sem distinção de tipo, utiliza-se o conceito de Unidades de Tráfego Misto (UTM). Já quando os veículos são convertidos em equivalentes de carros de passeio, utiliza-se a unidade Unidade de Carro de Passeio (UCP). Essa conversão é feita por meio de fatores de equivalência, que ajustam o impacto de veículos pesados e leves sobre a via, sendo especialmente úteis em estudos de dimensionamento estrutural do pavimento (DNIT, 2006).

1.5.3 Contagem Volumétrica

As contagens volumétricas têm como principal objetivo determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos em um ou vários pontos específicos do sistema viário. Essas informações são essenciais para análises de capacidade, investigação de causas de congestionamentos e acidentes, projetos de canalização de tráfego, definição de prioridades de intervenção e, principalmente, para o dimensionamento de pavimentos (DNIT, 2006). A coleta de dados pode ser feita em trechos entre interseções — para medir os fluxos contínuos da via — ou nas interseções, com foco nos movimentos dos ramos de ligação.

As contagens volumétricas podem ser classificadas em três categorias: contagens globais, contagens direcionais e contagens classificatórias. As contagens globais registram o número total de veículos que passam por um ponto da via, sem considerar o sentido de deslocamento, sendo úteis para avaliar volumes totais e tendências de tráfego ao longo do tempo. As direcionais, por outro lado, separam os veículos conforme o sentido de tráfego, permitindo estudos mais detalhados de capacidade e sinalização. Já as classificatórias registram os veículos por tipo ou classe, sendo fundamentais para o dimensionamento estrutural, cálculos de capacidade e projetos geométricos (DNIT, 2006).

Quanto aos métodos de contagem, há quatro abordagens principais: manuais, automáticas, videoteipe e observador móvel. A contagem manual é feita por observadores com

auxílio de fichas e contadores mecânicos ou eletrônicos. É amplamente usada em rodovias com muitas faixas e em vias urbanas, por sua praticidade e baixo custo. A principal vantagem desse método é a flexibilidade e a facilidade de operação, embora seja necessário cuidado para registrar corretamente interferências externas, como acidentes ou obras (DNIT, 2006).

A contagem automática utiliza sensores, como tubos pneumáticos, laços magnéticos, dispositivos infravermelhos, radar ou tecnologia IMV (Imagem Magnética do Veículo). Esses sistemas registram o tráfego continuamente e podem ser portáteis ou permanentes. Equipamentos como o Marksman 400 e o Hi-Star possibilitam identificar o tipo de veículo, velocidade, comprimento e número de eixos, tornando desnecessárias, em muitos casos, as contagens classificatórias manuais. Embora apresentem custo inicial mais elevado e risco de vandalismo, os sistemas automáticos estão se tornando cada vez mais viáveis devido aos avanços tecnológicos (DNIT, 2006).

Outros métodos também são utilizados conforme a necessidade do estudo. O uso de videoteipe — filmagens com câmeras — permite capturar simultaneamente vários movimentos em interseções, oferecendo a vantagem de se poder revisar os dados e obter mais informações, como giros, distâncias entre veículos e velocidades. Já o método do observador móvel consiste em utilizar um veículo-teste que percorre o trecho da via várias vezes, registrando ultrapassagens, cruzamentos e tempos de percurso. A partir desses dados, pode-se estimar o volume de tráfego de forma indireta. Esse método é mais comum em áreas urbanas, onde o tráfego é mais fluido e menos previsível (DNIT, 2006).

1.5.4 Determinação do número "N"

O dimensionamento de um pavimento flexível, segundo o método estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), leva em conta o **número "N"**. Este parâmetro é definido como o número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 toneladas (80 kN) que atuará sobre o pavimento durante o período de projeto (DNIT, 2006; SOUZA, 1981). O número "N" é, portanto, a variável que representa a solicitação do tráfego, sendo fundamental para estimar o desgaste que a estrutura sofrerá ao longo de sua vida útil.

A determinação do número "N" exige uma análise detalhada do tráfego. A estimativa parte da avaliação do tráfego atual, geralmente obtido por meio de contagens volumétricas e classificatórias em campo. A partir desses dados, são realizadas projeções para o tráfego futuro, que devem considerar taxas de crescimento associadas a indicadores socioeconômicos da região, como a evolução da população, o aumento da frota de veículos e o crescimento da produção industrial e agrícola (DNIT, 2006).

Para o correto dimensionamento, é essencial conhecer a composição da frota, com a devida classificação dos veículos de carga, e o carregamento por eixo de cada categoria. Segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), a forma mais precisa de obter os dados de carregamento é por meio de operações de pesagem no próprio trecho ou em rodovias com características de tráfego similares.

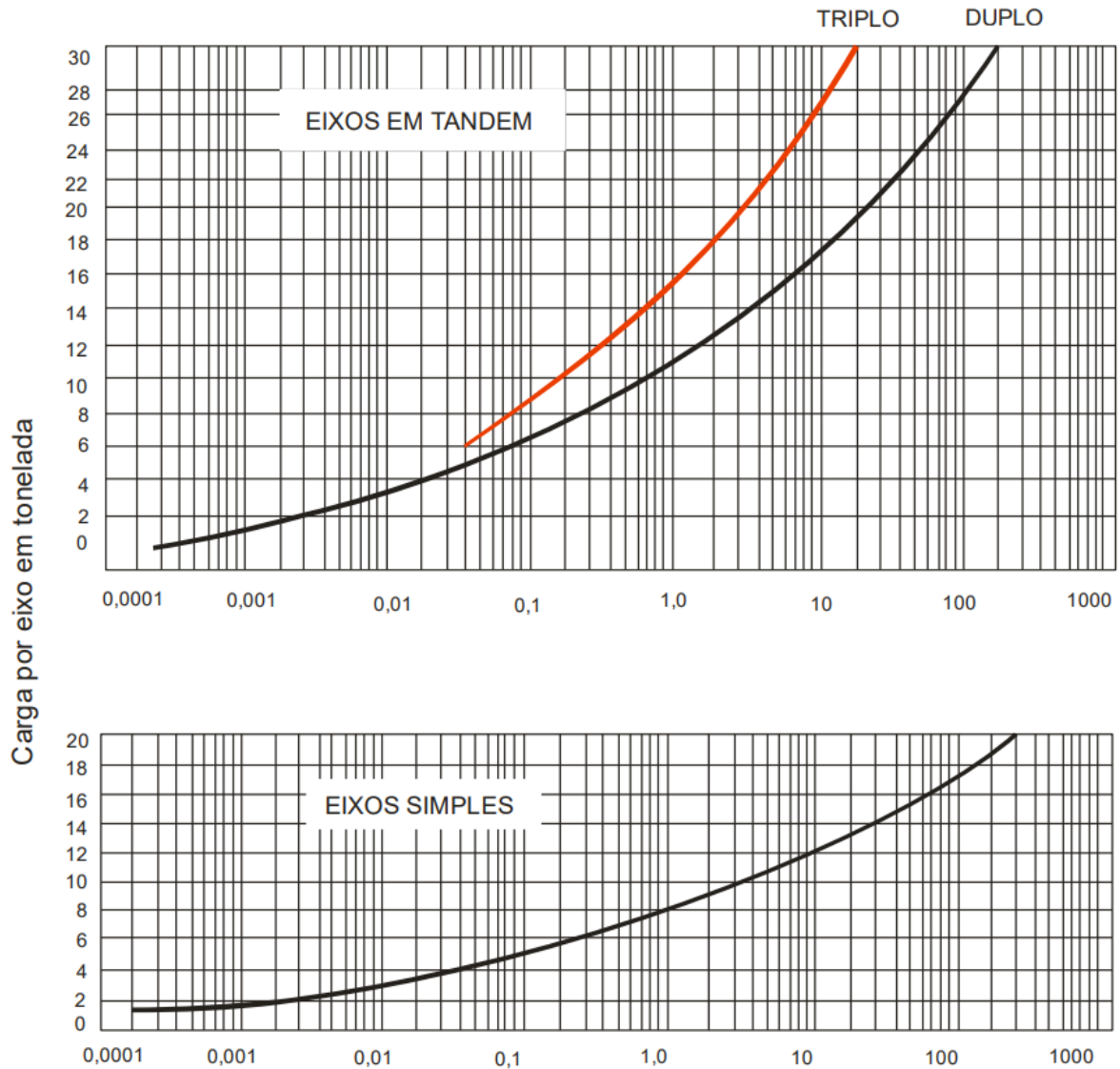
O cálculo do número "N" converte o tráfego misto (composto por veículos de diferentes tipos e cargas) em um número equivalente de operações do eixo-padrão. Para isso, o método emprega Fator de Carga (FC) e Fator de Eixo (FE). De maneira mais direta, utiliza-se o Fator de Veículo (FV), que é o produto entre o FC e o FE, representando o número de eixos-padrão por veículo (SOUZA, 1981).

Segundo Senço (2007), o Fator de Carga é um conceito que se baseia na equivalência de operações, utilizando um fator (f) para relacionar o efeito da passagem de qualquer tipo de veículo sobre o pavimento com o efeito que seria provocado por um veículo padrão. O objetivo é converter o tráfego real e diversificado, previsto para o período de projeto, em um número de passagens desse eixo padrão que reproduza o mesmo nível de solicitação na estrutura do pavimento.

A determinação do Fator de Carga (FC) baseia-se no conceito do Fator de Equivalência de Carga, de modo que veículos com carga superior a 8,2 tf terão um fator maior que a unidade, enquanto aqueles com cargas inferiores terão um fator menor que um. Para determinar a equivalência total de operações, multiplica-se o fator de equivalência de cada categoria de veículo pelo seu respectivo volume diário. A soma desses produtos, abrangendo todos os veículos que circularão na via, resulta no tráfego total expresso em termos de passagens do veículo padrão, sendo este o valor utilizado para o dimensionamento (SENÇO, 2007).

Os fatores de equivalência de carga por eixo foram desenvolvidos com base nos subsídios fornecidos pelos trechos experimentais da AASHTO e do USACE (Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano). Nesses estudos, diversas concepções de pavimento foram submetidas ao carregamento por veículos com diferentes tipos de eixos e cargas, sendo avaliados os efeitos na estrutura. A principal diferença entre os resultados reside no critério de análise: os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia (PSI) e dependem do tipo de pavimento (flexível ou rígido), do índice de serventia terminal e da resistência da estrutura (número estrutural – SN). Em contrapartida, os fatores obtidos pelo USACE são distintos, pois foram desenvolvidos a partir da avaliação dos efeitos do carregamento na deformação permanente, especificamente no afundamento nas trilhas de roda. Tais valores são obtidos em ábacos (gráficos) ou tabelas.

Figura 9 - Fatores de Equivalência de Operação



Fonte: DNIT, 2006.

Tabela 2 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simple de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simple de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

Fonte: DNIT, 2006.

Tabela 3 - Fatores de equivalência de carga do USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte: DNIT, 2006.

O Fator de Eixo (FE) é um coeficiente utilizado para converter o volume de tráfego, já transformado em número de veículos padrão pelo Fator de Carga (FC), no número correspondente de passagens de eixos equivalentes. Essencialmente, este fator representa o número médio de eixos por veículo, considerando a composição da frota que irá trafegar pela rodovia. Sua função é ajustar a análise de tráfego para refletir a quantidade total de eixos que solicitarão a estrutura do pavimento, e não apenas o número de veículos (SENÇO, 2007).

O cálculo do Fator de Eixo é uma média ponderada, que leva em conta a porcentagem de participação de cada tipo de veículo com base no seu respectivo número de eixos. A expressão matemática para o seu cálculo é:

$$FE = (100 \cdot p_2) \cdot 2 + (100 \cdot p_3) \cdot 3 + \dots + (100 \cdot p_n) \cdot n \quad \text{Equação II}$$

Nesta fórmula, p_2, p_3, \dots, p_n representam a porcentagem de veículos com 2, 3, ou 'n' eixos na composição total do tráfego. Ao aplicar esta equação, obtém-se um valor médio que quantifica o número de eixos por veículo na corrente de tráfego analisada (SENÇO, 2007).

Assim, a equação para o cálculo de "N" é simplificada para:

$$N = V_t \cdot FV \quad \text{Equação III}$$

Onde:

- V_t é o volume total de tráfego no período de projeto, expresso pelo produto de $365 \times VMD \times P$.
- FV é o Fator de Veículo médio para a frota, produto de FC e FE .

É importante notar que, para fins de dimensionamento, o efeito de veículos leves como automóveis e caminhonetes é considerado desprezível, focando-se a análise nos veículos comerciais (SOUZA, 1981).

O método de dimensionamento prevê ainda a aplicação do Fator Climático Regional (FR), um coeficiente que visa ajustar o cálculo de "N" às variações sazonais de umidade que afetam a capacidade de suporte das camadas do pavimento (DNIT, 2006). A prática adotada no Brasil, mantida no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), é utilizar o valor de $FR = 1$. Essa prática se justifica pelo fato de o ensaio de suporte CBR (California Bearing Ratio), que alimenta o método, ser realizado com os corpos de prova em condição de saturação (após imersão em água por quatro dias), o que representa a condição mais desfavorável para o subleito e já embute um fator de segurança no dimensionamento. De forma complementar à prática padrão, Senço (2007) sugere para o Brasil a adoção de fatores climáticos regionais que variam em função da precipitação pluviométrica média anual da região.

Figura 10 - Relação entre altura média anual de chuva (mm) com o Fator Climático

Altura média anual de chuva (mm)	Fator climático regional (FR)
Até 800	0,7
De 800 a 1.500	1,4
Mais de 1.500	1,8

Fonte: SOUZA, 1966.

1.6 Dimensionamento de Pavimento Flexível pelo método do DNER

Dentre os diversos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis existentes, o presente trabalho se aterá à metodologia oficial vigente no Brasil. Trata-se do método desenvolvido pelo antigo DNER e hoje adotado pelo DNIT, comumente chamado de método CBR, que foi introduzido no país pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza em 1966 (COSTA, 2021). Este é um método de base empírica, cuja fundamentação teórica se apoia nos estudos do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE), especificamente o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", e nas conclusões obtidas na Pista Experimental da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), conferindo-lhe uma base sólida de observação e prática (DNIT, 2006).

O método DNIT, fundamenta-se em três pilares essenciais: a caracterização dos materiais constituintes do pavimento, a capacidade de suporte do subleito e a análise do tráfego, que é expressa pelo número N (número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 toneladas). A filosofia central do método é utilizar o Índice de Suporte Califórnia (CBR), também chamado

de Índice de Suporte (IS), para avaliar o potencial de ruptura do subleito e, a partir daí, dimensionar uma estrutura de camadas capaz de protegê-lo contra a ruptura por cisalhamento (BIEDACHA, 2020). A própria origem do ensaio CBR, nos anos 1920, partiu da necessidade de compreender as causas de rupturas em pavimentos, que já na época foram associadas a fatores como excesso de umidade no subleito, bases com resistência insuficiente e compactação deficiente (SOUZA, 1966; COUTINHO, 2011, apud NEPOMUCENO, 2019).

Para garantir a eficácia do dimensionamento, o método estabelece critérios rigorosos para a seleção e utilização dos materiais, conforme preconizado pelo Manual de Pavimentação (DNIT, 2006). Para o subleito, exige-se que o material apresente uma expansão medida no ensaio CBR menor ou igual a 2% e um CBR mínimo de 2%. Acima dele, os materiais para reforço do subleito devem ter CBR superior ao do subleito e expansão máxima de 1%. A camada de sub-base, por sua vez, requer materiais com CBR igual ou superior a 20%, Índice de Grupo (IG) igual a zero e expansão máxima de 1%. Por fim, para a camada de base, as exigências são ainda mais restritivas, demandando um CBR mínimo de 80%, expansão não superior a 0,5%, limite de liquidez máximo de 25% e índice de plasticidade que não ultrapasse 6% (DNIT, 2006, p.142).

Tabela 4 - Critérios para seleção dos materiais do pavimento

Camada	CBR mínimo	Observação
Subleito	2%	Expansão \leq 2%
Sub-base	20%	IG = 0 e Expansão \leq 1%
Base	80%	Expansão \leq 0,5% Limite de liquidez \leq 25% Índice de Plasticidade \leq 6%

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

1.6.1 Parâmetros de Entrada para o Dimensionamento

O dimensionamento da estrutura do pavimento pelo método do DNIT, conforme detalhado no referencial teórico, requer dois parâmetros de entrada fundamentais: a solicitação do tráfego e a resistência do subleito.

A solicitação do tráfego é representada pelo **Número "N"**, que corresponde ao número de repetições do eixo-padrão de 8,2 toneladas durante o período de projeto. A metodologia completa para a determinação deste parâmetro, incluindo a análise do volume de tráfego, taxas de crescimento, e a aplicação dos Fatores de Carga (FC), de Eixo (FE), de Veículo

(FV) e Climático Regional (FR), foi detalhadamente apresentada na **Seção 3.2 (Estudo do Tráfego)** deste trabalho.

O segundo parâmetro, referente à resistência da fundação, é o Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito. Conforme discutido na seção de materiais.

Com estes dois parâmetros definidos, procede-se à aplicação do método de dimensionamento.

1.6.2 Dimensionamento do Pavimento

Para determinar a espessura das camadas, se dá início com a espessura do pavimento flexível. Essa espessura mínima é definida pela - Tabela 32 do Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), a partir do número N. Para a aplicação de um tratamento superficial, a base granular subjacente precisa apresentar coesão. Essa coesão pode ser apenas aparente, resultante das tensões capilares geradas pela umidade nos finos do material ou do eficiente arranjo e atrito entre as partículas do agregado.

Figura 11 - Tabela 32 do Manual de Pavimentação

Tabela 32 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

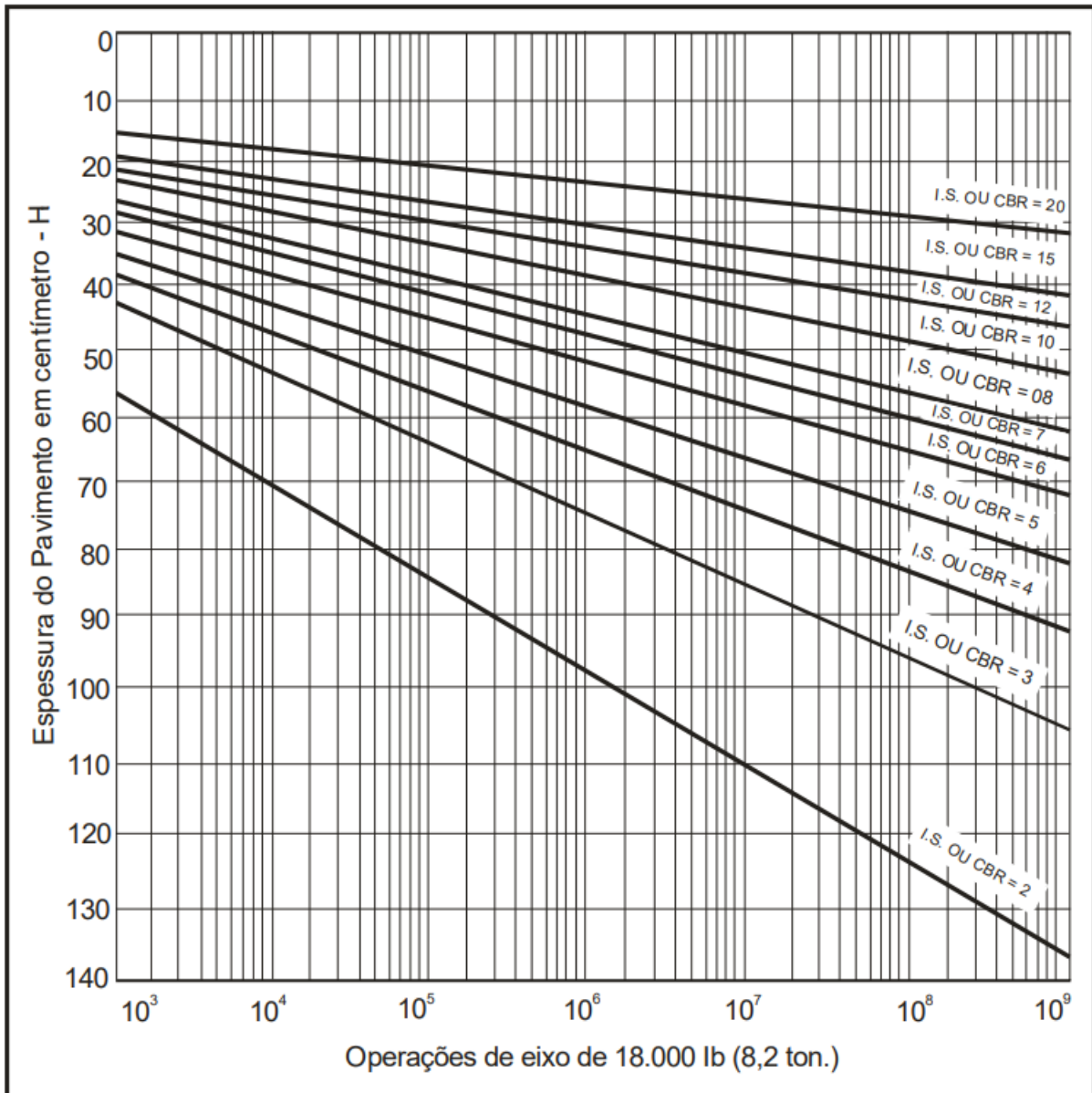
N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso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

Fonte: SOUZA, 1966.

O ábaco de dimensionamento, que representa a solução empírica do método, fornece a espessura total do pavimento necessária em função dos dois parâmetros de entrada: o tráfego (Número N) e a capacidade de suporte do material de fundação (IS ou CBR). O valor de espessura obtido no ábaco é expresso em termos de um material granular padrão, cujo coeficiente de equivalência estrutural (K) é igual a 1,00. O procedimento consiste em entrar no eixo das abscissas com o valor de N, seguir verticalmente até a curva correspondente ao CBR

do material em análise e, então, ler horizontalmente no eixo das ordenadas a espessura de cobertura necessária (DNIT, 2006).

Figura 12 – Ábaco de dimensionamento



Fonte: DNIT, 2006.

Figura 13 - Tabela 31 do Manual de Pavimentação

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

Fonte: DNIT, 2006.

Determinada a cobertura total necessária sobre cada camada, a definição da espessura individual de cada uma — revestimento (R), base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), se houver — é obtida pela resolução de um sistema de inequações. Este sistema garante que a contribuição estrutural combinada das camadas superiores seja sempre suficiente para proteger a camada imediatamente inferior. Utilizando os coeficientes de equivalência estrutural (K) de cada material (obtidos na Tabela 31 do Manual de Pavimentação), as inequações são resolvidas sucessivamente, da camada superior para a inferior, conforme se segue (DNIT, 2006):

Verificação sobre a sub-base: A soma das espessuras equivalentes do revestimento e da base deve ser maior ou igual à cobertura necessária sobre a sub-base (H_{20}).

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20} \quad \text{Equação IV}$$

Verificação sobre o reforço do subleito: A contribuição estrutural de revestimento, base e sub-base deve ser maior ou igual à cobertura necessária sobre a camada de reforço (H_n).

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S \geq H_n \quad \text{Equação V}$$

Verificação sobre o subleito: A contribuição estrutural de toda a estrutura do pavimento deve ser maior ou igual à cobertura total necessária sobre o subleito (H_m).

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_S + h_n.K_{REF} \geq H_m \quad \text{Equação VI}$$

Uma outra maneira de determinar a espessura total da camada, além do gráfico é pela equação, descrita no próprio manual.

$$H_t = 77,67.N^{0,0482}.CBR^{-0,598} \quad \text{Equação VII}$$

O método estabelece algumas premissas e regras específicas. Assume-se que a drenagem superficial será adequada e que o lençol freático se encontra rebaixado a, no mínimo, 1,50 m da cota de regularização do subleito. Para solos com CBR inferior a 2%, recomenda-se a substituição por um material de melhor qualidade numa espessura de pelo menos 1,0 m. Além disso, as espessuras das camadas granulares devem respeitar limites construtivos: a espessura mínima de execução é de 15 cm, enquanto a espessura máxima para uma camada a ser compactada de uma só vez é de 20 cm (DNIT, 2006).

O Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) aponta que não há um método de dimensionamento tão rigoroso para os acostamentos quanto para a pista de rolamento. A prática mais comum e benéfica, tanto do ponto de vista estrutural quanto de drenagem, é adotar a mesma estrutura da pista de rolamento para as camadas de sub-base e base. A principal diferenciação e redução de custos pode ser feita na camada de revestimento, que pode ser de uma categoria inferior à da pista principal. Em situações onde a camada de base da pista possui um custo muito elevado, podem ser adotadas soluções alternativas para o acostamento, como o uso de materiais de sub-base de qualidade excepcional ou solos modificados com cimento ou cal. Para efeito de análise, sugere-se que o tráfego nos acostamentos seja da ordem de até 1% do tráfego da pista de rolamento.

METODOLOGIA

Esta pesquisa é um estudo de caso, aplicado na cidade de Piumhi – MG, relacionado à definição estrutural de um pavimento flexível projetado para criar ligação rodoviária entre a MG-050 e a MG-341. Escolheu-se a localização pela análise da Rua Severo Veloso, rodovia urbana com características geométricas e circulatória aproximadamente iguais às esperadas para a nova seção, servindo como ponto-base para a coleta dos dados circulatórios utilizados na definição.

Foram realizados a coleta de dados de tráfego na Rua Severo Veloso por meio de contagem manual e auxílio de equipamento com gravação de vídeo (celular), com atenção aos veículos em um sentido único da via. Os veículos foram classificados com relação aos tipos de eixos referidos na metodologia do DNIT (2006), eles são: Eixo Simples com Rodagem Simples (ESRS), Eixo Simples com Rodagem Dupla (ESRD), Eixo Tandem com Rodagem Dupla (ETD) e Eixo Tandem com Rodagem Tripla (ETT).

A contagem do tráfego foi feita a partir da gravação da Rua Severo Veloso em uma quinta-feira, 3 de abril de 2025, das 7h às 21h. Com o auxílio de uma planilha eletrônica, conforme apêndice B, foram preenchidas as seguintes colunas:

- Coluna 1: Quantidade de Eixo Simples de Rodagem Simples;
- Coluna 2: Quantidade de Eixo Simples de Rodagem Dupla;
- Coluna 3: Quantidade de Eixo Tandem Duplo;
- Coluna 4: Quantidade de Eixo Tandem Triplo;
- Coluna 5: Total de eixos do veículo
- Coluna 6: Tipo do veículo por eixo

Com esses dados, processou-se a informação para a determinação do volume médio diário de tráfego, além da conversão do tráfego bruto em Número N, representando o número de repetições da carga durante a vida útil do pavimento.

Para o cálculo do Fator de Carga (FC), foi preenchida uma nova tabela com as informações obtidas na contagem do tráfego:

- Coluna 1: Tipo de Eixo;
- Coluna 2: Peso em toneladas por eixo, em toneladas (conforme Anexo A);
- Coluna 3: Quantidade de eixos por tipo, obtidos no Apêndice B;
- Coluna 4: Relação entre quantidade de eixo pelo tipo e quantidade total de eixos;
- Coluna 5: Fator de equivalência operacional (conforme tabela USACE)

- Coluna 6: Produto das colunas 4 e 5

Para o cálculo do Fator de Eixo (FE), foi preenchida outra tabela, ainda com as informações da contagem do tráfego:

- Coluna 1: Número de eixos dos veículos
- Coluna 2: Quantidade de veículos com os eixos da Coluna 1;
- Coluna 3: Relação percentual entre quantidade de veículos com o mesmo número de eixo e quantidade total de veículos
- Coluna 4: Produto entre as colunas 1 e 3

Para o Fator Regional (FR) foram utilizados as isoetas obtidas do IDE SISEMA (Infraestrutura de Dados Especiais do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos), e os limites de município e estaduais obtidos no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Com esses dados foi elaborado um mapa que dispõe do município de Piumhi entre as isoetas conforme Apêndice C.

A seguir, aplicaram-se os critérios técnicos utilizados no Manual de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis da DNIT (2006), para definir-se as espessuras das camadas. A metodologia levaria em conta a constituição do tráfego, a vida útil projeto (para um período de projeto de 20 anos) e a estimativa da capacidade de suporte do subleito com base em valores referenciais tirados da literatura, já que não houve ensaios geotécnicos em campo.

Para a elaboração do presente estudo de dimensionamento, ressalta-se que a determinação experimental das características geotécnicas dos materiais por meio de ensaios de laboratório não constituiu o escopo deste trabalho. O foco desta pesquisa está centrado na aplicação da metodologia de cálculo e na análise da estrutura do pavimento. Desta forma, para representar as camadas de base, sub-base e o subleito, foram adotados os valores mínimos de suporte estipulados pelas normas técnicas. Essa abordagem consiste em utilizar, para cada camada, o menor valor de Índice de Suporte Califórnia (CBR) que um material deve apresentar para ser aprovado para aquela função, conforme preconiza o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006). A adoção desses parâmetros mínimos representa uma condição de projeto conservadora e segura, garantindo que a estrutura dimensionada seja capaz de suportar as solicitações do tráfego mesmo nas condições de suporte mais desfavoráveis permitidas pela especificação técnica.

Dá-se início pela determinação as demais camadas do pavimento começando pela base (B), resolvendo a inequação de verificação da sub-base.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20}$$

Equação IV

Sendo:

- R a espessura do revestimento
- K_R o coeficiente de equivalência estrutural do revestimento
- B a espessura da base
- K_B o coeficiente de equivalência estrutural da base
- H_{20} a espessura do revestimento + base

Em seguida, para determinar a espessura da camada de sub-base (h_{20}), foi resolvida a inequação de verificação do reforço do subleito/subleito.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S \geq H_n$$

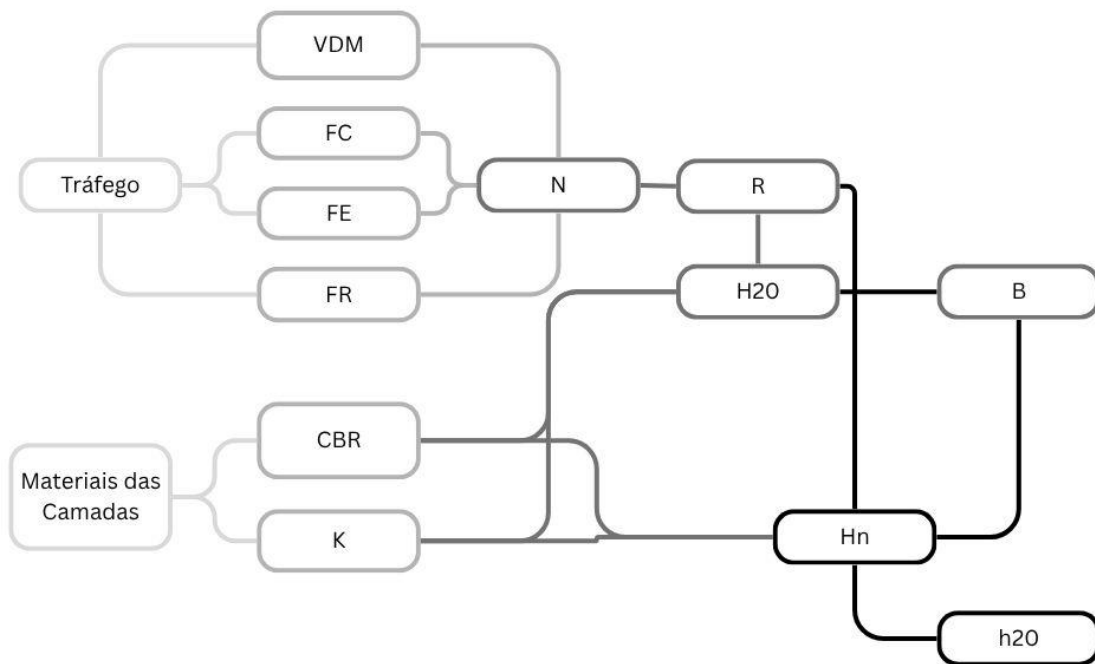
Equação V

Sendo:

- R a espessura do revestimento
- K_R o coeficiente de equivalência estrutural do revestimento
- B a espessura da base
- K_B o coeficiente de equivalência estrutural da base
- h_{20} a espessura da sub-base
- K_S o coeficiente de equivalência estrutural da sub-base
- H_n a espessura do revestimento + base + sub-base

No capítulo de CONCLUSÃO, realiza-se uma análise crítica das limitações do estudo, na qual serão avaliadas as principais premissas adotadas e suas implicações nos resultados finais do dimensionamento. Essa análise abrangerá a adoção de valores normativos para a caracterização geotécnica dos materiais (CBR), em contrapartida a dados experimentais de campo, bem como a representatividade da amostragem de tráfego, considerando a natureza pontual da coleta e as possíveis variações sazonais não contempladas. Adicionalmente, serão discutidos os ajustes metodológicos realizados para adequar os dados de tráfego, coletados em ambiente urbano, ao contexto de uma rodovia intermunicipal.

Figura 14 - Fluxograma



Fonte: Arquivo próprio.

VDM – Volume diário Médio

FC - Fator de Carga

FE – Fator de Eixo

N – Número de operações equivalentes de eixo padrão

CBR – California Bearing Ratio

K – Coeficiente de equivalência estrutural

R – Espessura do Revestimento

H20 – Espessura do Revestimento + Base

B – Espessura da Base

Hn – Espessura do Revestimento + Base + Sub-base

h20 – Espessura da Sub-base

Figura 16 - Local de análise do tráfego



Fonte: Google Maps.

Após preencher a planilha com as informações do tráfego dispostas no Apêndice B, foram preenchidas 2 tabelas para calcular o Fator de Carga e o Fator de Eixo, Tabela 5 e Tabela 6 respectivamente. Com o preenchimento é possível notar que o eixo tipo ESRS foi predominante, sendo o segundo mais frequente o ETD. Além disso, o veículo tipo ‘Caminhão’ foi o mais frequente na amostra desse trabalho sendo responsável por 47% dos veículos analisados.

Tabela 5 - Fator de Carga Calculado

<i>Eixo</i>	<i>Toneladas (t)</i>	<i>Nº eixos</i>	<i>% eixos</i>	<i>Fator de Equivalência Operacional</i>	<i>Fator de Carga</i>
<i>ESRS</i>	<i>6</i>	<i>216</i>	<i>0,44</i>	<i>0,28</i>	<i>0,12</i>
<i>ESRD</i>	<i>10</i>	<i>131</i>	<i>0,26</i>	<i>3,29</i>	<i>0,87</i>
<i>ETD</i>	<i>17</i>	<i>138</i>	<i>0,28</i>	<i>8,55</i>	<i>2,38</i>
<i>ETT</i>	<i>25,5</i>	<i>11</i>	<i>0,02</i>	<i>9,30</i>	<i>0,21</i>
<i>Total</i>		<i>496</i>	<i>1,00</i>		<i>3,57</i>

Fonte: Arquivo próprio.

Tabela 6 - Fator de Eixo Calculado

<i>Nº de Eixos</i>	<i>Quantidade</i>	<i>%</i>	<i>Fator de Eixo</i>
2	97	47%	0,94
3	53	26%	0,77
4	27	13%	0,52
5	5	2%	0,12
6	11	5%	0,32
7	11	5%	0,37
8	0	0%	0,00
9	3	1%	0,13
<i>Total</i>	<i>207</i>	<i>100%</i>	<i>3,17</i>

Fonte: Arquivo próprio.

Como o município de Piumhi está entre as isoetas de 1.400 e 1.500 mm/ano conforme o Apêndice C, foi adotado o maior valor de 1500mm/ano para o município, e a partir da adoção feita por Senço (2007), tem-se que $FR=1,8$. Não foi utilizado o valor de 1,0 devido a forte influência do clima no desempenho e duração do pavimento.

O número total de veículos contados no dia foi de 207, tendo sido esse valor adotado como Volume médio diário (Vmd). Tal valor é utilizado no cálculo do número 'N', conforme a Equação VIII.

$$N = 365 \times VMD \times FC \times FE \times FR \times P \quad \text{Equação VIII}$$

$$N = 365 \times 207 \times 3,57 \times 3,17 \times 1,8 \times 20 = 3,1 \times 10^7 \quad \text{Equação VIII}$$

1.6.4 Dimensionamento da Estrutura do Pavimento

A partir do número de operações equivalentes calculado de $3,1 \times 10^7$, e da Tabela 32 do Manual de Pavimentação, nota-se que o valor se encontra entre 10^7 e 5×10^7 . Nesse intervalo o revestimento deve ser de concreto betuminoso e com espessura mínima de 10 cm.

Figura 17 - Espessura do Revestimento determinado

Tabela 32 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

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

Fonte: Adaptado de SOUZA, 1966.

A partir da Equação IV, com o valor do CBR de 20% da sub-base (mínimo exigido pelo Manual de Pavimentação) e N, obteve-se que $H_t = H_{20} = 30 \text{ cm}$ pela Equação VII.

$$H_{20} = 77,67 \cdot (3,1 \times 10^7)^{0,0482} \cdot 20^{-0,598} \cong 30 \quad \text{Equação IX}$$

$$10.2 + B.1 \geq 30 \quad \text{Equação IV}$$

O valor resultado da inequação é 10 cm, porém pelo manual uma camada não deve ser inferior a 15cm. Logo será adotado valor de 15 cm para a base.

Seguindo o mesmo método para determinar a espessura total da camada do revestimento + base, foi utilizado a, com o valor de IS de 2% do subleito (mínimo exigido pelo Manual de Pavimentação) e N, obteve-se que $H_t = H_n = 118 \text{ cm}$.

$$H_n = 77,67 \cdot (3,1 \times 10^7)^{0,0482} \cdot 2^{-0,598} \cong 118 \quad \text{Equação X}$$

$$10.2 + 15.1 + h_{20}.1 \geq 118 \quad \text{Equação V}$$

O valor resultado para a camada de sub-base da inequação é 83 cm, valor superior ao mínimo de 15 cm. Para execução desta camada, divide-a em faixas de no máximo 20cm e, no mínimo, 10cm.

A seção transversal do pavimento, em resumo com os seguintes valores:

Revestimento: 10,0 cm

Base: 15 cm

Sub-base: 83 cm

1.6.5 Discussão e Análise Crítica dos Resultados

Procede-se, agora, à análise interpretativa dos resultados obtidos no dimensionamento do pavimento. A discussão aborda as implicações técnicas das premissas adotadas, tanto na caracterização do tráfego quanto na dos materiais, e avalia a estrutura final do pavimento sob a ótica da engenharia, correlacionando os resultados com a metodologia do DNIT e as condições específicas do projeto.

1.6.5.1 Discussão da Análise de Tráfego e seus Impactos

A análise de tráfego resultou em um Número “N” de magnitude elevada, o que classifica a via como de tráfego extremamente pesado. Este resultado é uma consequência direta da combinação de três fatores principais, cujas implicações merecem ser discutidas.

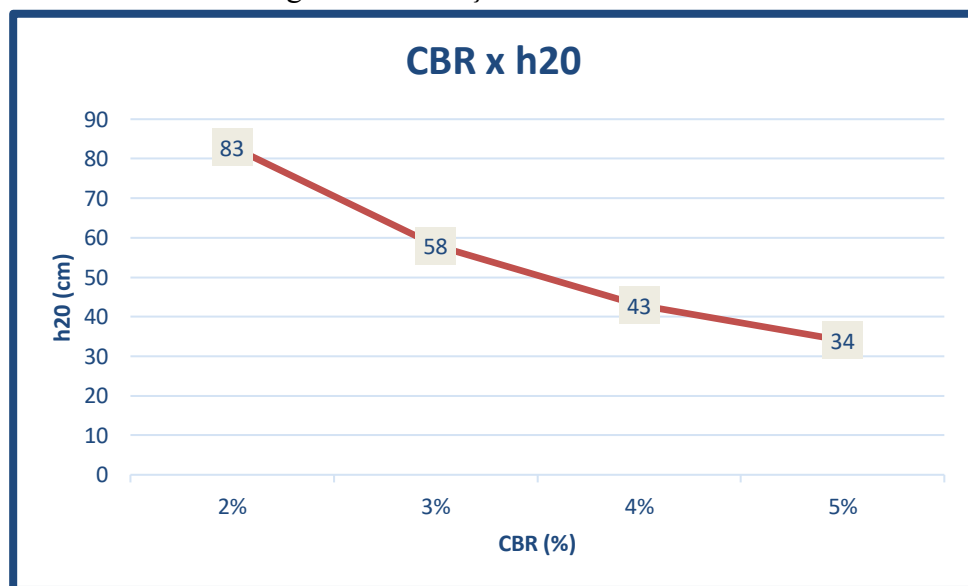
Primeiramente, a adoção de um Fator Regional (FR) de 1,8, com base nos estudos de Senço (2007) e na precipitação pluviométrica local, representa um desvio significativo da prática padrão do DNIT, que usualmente adota $FR = 1,0$. Essa escolha, embora tecnicamente fundamentada na literatura para regiões de alta pluviosidade, quase dobra o número de solicitações do eixo-padrão, exercendo uma influência preponderante sobre o dimensionamento e conduzindo a uma estrutura consideravelmente mais robusta em relação ao uso do fator padrão fosse utilizado.

Em segundo lugar, os valores calculados para o Fator de Carga ($FC = 3,57$) e Fator de Eixo ($FE = 3,17$) são altos, indicando um tráfego com predominância de veículos comerciais pesados e com múltiplos eixos. Este perfil é coerente com a função da via como uma rota de desvio para veículos de grande porte, evitando a área urbana central. Contudo, é importante ressaltar a limitação da amostragem de tráfego, realizada em um único dia. Embora representativa para o escopo deste trabalho acadêmico, uma análise para um projeto executivo demandaria um estudo mais aprofundado, com contagens em diferentes dias da semana e épocas do ano, a fim de mitigar variações sazonais e garantir uma maior precisão do Volume Médio Diário (VMD).

1.6.5.2 Discussão dos Parâmetros Geotécnicos Adotados

A decisão de adotar os valores mínimos de CBR permitidos pela norma DNIT (subleito com CBR=2% e sub-base com CBR=20%), na ausência de ensaios experimentais, foi uma escolha metodológica que posiciona o dimensionamento no cenário mais desfavorável possível. Esta abordagem, embora garanta a máxima segurança estrutural, tem um impacto direto e severo na espessura final do pavimento. Um subleito com CBR de apenas 2% é classificado como de péssima capacidade de suporte, exigindo uma estrutura de grande espessura para dissipar as tensões do tráfego a um nível que ele possa suportar sem se deformar. Fica evidente que qualquer melhoria na capacidade de suporte do subleito, que poderia ser confirmada por meio de uma campanha de investigação geotécnica em campo, resultaria em uma redução drástica e economicamente significativa nas espessuras das camadas do pavimento. Para efeitos de cálculo, um subleito com CBR de 3%, resultaria em uma sub-base de 58 cm, já um subleito com CBR de 4% teria como resultado uma sub-base de 43 cm e um subleito com CBR de 5% em uma sub-base com 34 cm de espessura.

Figura 18 - Relação CBR x h20



Fonte: Arquivo próprio.

1.6.5.3 Análise Crítica da Estrutura de Pavimento Dimensionada

A estrutura final do pavimento, com 10 cm de revestimento asfáltico, 15 cm de base e 83 cm de sub-base, é um reflexo direto das condições críticas de contorno estabelecidas: um tráfego de magnitude elevadíssima e uma fundação de baixíssima resistência. A espessura do revestimento de 10 cm é compatível com o alto valor de "N", conforme as tabelas do método

DNIT. A espessura da base, ajustada de 10 cm para o mínimo construtivo de 15 cm, demonstra a aplicação correta dos preceitos práticos de engenharia sobre o cálculo teórico.

O resultado mais expressivo é, sem dúvida, a espessura da sub-base de 83 cm. Este valor, embora matematicamente correto dentro do método, levanta importantes questões de viabilidade construtiva e econômica. Uma camada com mais de um metro de espessura implica em um volume imenso de material, custos elevados com aquisição e transporte, e um processo de execução complexo, que exigiria a compactação em múltiplas camadas de no máximo 20 cm cada para garantir a densidade adequada. Este resultado evidencia a alta sensibilidade do método de dimensionamento às condições de entrada, mostrando como a combinação de um tráfego severo (amplificado pelo FR) e um subleito fraco (CBR mínimo) resulta em uma solução estruturalmente robusta, porém extremamente onerosa.

Em suma, a solução dimensionada atende plenamente aos requisitos de segurança do método DNIT para as premissas adotadas. No entanto, a discussão revela que, para um projeto real, seria imperativo investir em análises mais aprofundadas, especialmente na caracterização geotécnica do subleito, pois o potencial de otimização e redução de custos associado à descoberta de um CBR real, ainda que ligeiramente superior a 2%, seria imenso.

1.6.5.4 Análise de Otimização e Viabilidade Executiva das Camadas

A metodologia de dimensionamento do DNIT, aplicada rigorosamente, resultou em uma estrutura de pavimento com uma camada de base de 15 cm (adequada ao mínimo normativo de 15 cm para tráfego pesado) e uma camada de sub-base com 83 cm de espessura. Embora tecnicamente correto, este resultado suscita uma importante discussão sob a ótica da engenharia prática e da viabilidade executiva. A execução de uma camada de sub-base com mais de um metro de espessura pode se tornar logisticamente complexa e economicamente desvantajosa, dependendo da disponibilidade e do custo de transporte dos materiais na região da obra.

Neste contexto, a engenharia de pavimentos permite a otimização das camadas, buscando um equilíbrio técnico-econômico. Uma estratégia comum é a "compensação estrutural", na qual se aumenta a espessura de uma camada de maior capacidade de suporte (como a base, com $\text{CBR} \geq 80\%$) para reduzir a necessidade de uma camada de material inferior (a sub-base, com $\text{CBR} \geq 20\%$). Esta abordagem não apenas é válida, como também é desejável quando há boa disponibilidade de materiais de alta qualidade (materiais para base) na região.

Para ilustrar essa otimização, propõe-se uma análise alternativa na qual a espessura da camada de base é majorada de 15 cm para 30 cm. Este aumento visa não apenas reforçar a

camada mais nobre da estrutura, mas principalmente reduzir a espessura da sub-base, otimizando a solução.

O dimensionamento original exigia uma espessura total de 83 cm sobre o subleito (CBR=2%). Mantendo o revestimento em 10 cm, a estrutura a ser dimensionada (sub-base) continua sendo de 83 cm. No entanto, ao aumentar a contribuição estrutural da base, a necessidade de sub-base diminui.

Considerando os coeficientes estruturais (K) de cada camada, onde a base (K_B) possui um coeficiente superior ao da sub-base (K_S), o aumento da espessura da base tem um impacto na capacidade estrutural do conjunto. Refazendo a verificação da estrutura sobre o subleito com a nova espessura de base:

Espessura do Revestimento (R): 10 cm

Espessura da Base (B): 30 cm

Espessura Total Requerida sobre o Subleito (H_n): 83 cm

A nova espessura da Sub-base (h_{20}) será: 68 cm

CONCLUSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo principal o dimensionamento de um pavimento flexível para a via urbana de ligação entre a MG-050 e a MG-341 no município de Piumhi-MG, utilizando a metodologia preconizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Ao longo do estudo, foram abordados os principais conceitos teóricos, desde a caracterização do tráfego e dos materiais até a aplicação prática do método de dimensionamento, culminando na definição de uma estrutura de pavimento tecnicamente fundamentada para um período de 20 anos.

O dimensionamento resultou em uma estrutura robusta, composta por 10 cm de revestimento em concreto asfáltico, 15 cm de base em brita graduada e uma expressiva camada de sub-base com 83 cm de espessura. Esta solução é o reflexo direto das condições de contorno adotadas, que combinaram uma solicitação de tráfego classificada como extremamente pesada ($N > 5 \times 10^7$) com a condição mais desfavorável para a capacidade de suporte dos materiais (CBR do subleito de 2%). O estudo demonstrou a alta sensibilidade do método empírico do DNIT aos parâmetros de entrada, evidenciando como a interação entre um tráfego severo e uma fundação de baixa resistência resulta em um pavimento de espessura considerável para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura, conforme gráfico da Figura 18.

A principal limitação desta pesquisa reside na natureza das amostragens e na ausência de ensaios laboratoriais. A contagem de tráfego, realizada em um único dia, oferece uma fotografia pontual do fluxo de veículos, porém não abrange as possíveis variações sazonais ou semanais que poderiam alterar o Volume Médio Diário e, conseqüentemente, o Número "N". Embora suficiente para a proposta acadêmica, uma amostragem mais extensa seria necessária para um projeto executivo. Adicionalmente, a não realização de ensaios geotécnicos, com a adoção dos valores mínimos de CBR normativos, representa outra limitação significativa. Esta abordagem conservadora, apesar de segura, não reflete a real capacidade de suporte dos materiais locais, o que provavelmente levou a um superdimensionamento da estrutura do pavimento.

A partir das discussões e limitações identificadas, surgem diversas oportunidades para trabalhos futuros. Sugere-se a realização de uma pesquisa de campo aprofundada, com uma campanha completa de investigação geotécnica para a determinação do CBR real do subleito e dos materiais disponíveis na região. Um estudo comparativo entre o dimensionamento com dados reais e o realizado neste trabalho com valores mínimos normativos quantificaria o impacto econômico e técnico dessa otimização. Outra sugestão seria

a análise de viabilidade de técnicas de estabilização do solo do subleito, como a incorporação de cal ou cimento, que poderiam elevar seu CBR e reduzir drasticamente a necessidade de espessas camadas granulares. O principal desafio a ser superado para a implementação de tais projetos reside no alto custo inicial de investigações detalhadas, um obstáculo comum em projetos de infraestrutura de menor porte.

Este trabalho demonstrou a aplicação rigorosa da metodologia do DNIT, que resultou em uma estrutura de pavimento tecnicamente correta, com uma base de 15 cm e uma sub-base de 83 cm. Contudo, a principal contribuição de uma análise de engenharia não reside apenas na aplicação da norma, mas na sua interpretação crítica. A expressiva espessura da camada de sub-base, por exemplo, suscita uma importante reflexão sobre a viabilidade executiva e econômica do projeto. Como demonstrado na discussão dos resultados, uma simples majoração na espessura da camada de base — um material estruturalmente mais nobre — implicaria uma redução considerável na camada de sub-base. Essa otimização evidencia que a melhor solução de engenharia frequentemente transcende o dimensionamento mínimo normativo, devendo incorporar análises de custo, logística e disponibilidade de materiais locais. Portanto, conclui-se que o dimensionamento de um pavimento é um processo iterativo, no qual o projetista deve buscar um equilíbrio técnico-econômico para entregar um projeto que não seja apenas seguro, mas também racional e exequível.

Em termos acadêmicos, este trabalho contribui como um guia prático e consolidado da aplicação passo a passo do método de dimensionamento do DNIT, servindo como material de consulta para estudantes de engenharia civil. Ele detalha a coleta de dados, a aplicação das fórmulas e a interpretação dos resultados de forma sequencial e didática. Para o mercado e para a comunidade local de Piumhi, o TCC levanta uma discussão técnica sobre a necessidade de uma infraestrutura viária adequada para suportar o tráfego pesado que utiliza a via como rota de desvio. Embora o dimensionamento apresentado seja uma solução teórica, ele quantifica a magnitude do problema e a robustez da solução necessária, fornecendo uma base técnica inicial para que o poder público possa planejar futuras intervenções, buscando soluções de engenharia que sejam além de seguras, economicamente viáveis para a realidade do município.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Bruno Sousa. **Análise de confiabilidade do pavimento executado suportar o tráfego estimado em projeto**. 2015. Artigo técnico – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), Foz do Iguaçu, 2015.
- ALMEIDA, Márcio Werneck de. **Aterros sobre solos moles: procedimentos para projeto e execução**. Rio de Janeiro: DNER, 1986.
- ANDRADE, G. R. (2012). **Capacidade e Relação Fluxo-Velocidade em Autoestradas e Rodovias de Pista Dupla Paulistas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação: treinamento para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS/IBP, 2008.
- BIEDACHA, A. **Análise comparativa do dimensionamento de pavimentos rodoviários flexíveis e semirrígidos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.
- COSTA, D. A. **Estudo de Dosagem de Concreto Asfáltico para a Região de Umuarama-PR**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Paranaense, Umuarama, 2021.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 714: **Manual de Conservação Rodoviária**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ipr, 2005. 234 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-epesquisa/ipr/coletanea-demanuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf. Acesso em: 08 abr. 2025.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 714: **Manual de Pavimentação**. 3ed. Rio de Janeiro: Ipr, 2006. 277 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-epesquisa/ipr/coletanea-demanuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf. Acesso em: 08 abr. 2025.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 720: **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ipr, 2006. 313 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-epesquisa/ipr/coletanea-demanuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf. Acesso em: 03 mar. 2025.
- FERREIRA, Henrique Silva. **Dimensionamento de pavimentos flexíveis: estudo comparativo entre os métodos do DNIT e MeDiNa**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. Estudo comparativo entre pavimentos flexível e rígido na pavimentação rodoviária. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, p. 134-152, 2018.
- LEITE, L. L. **Tecnologia de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 2007.

- MARTINS, V. L. F. D.; PARREIRA, K. M.; VIEIRA, J. A importância da infraestrutura de transporte para o desenvolvimento do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 6, n. 3, p. 427-442, set./dez. 2017.
- NEPOMUCENO, A. A. C. **Análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER e o da AASHTO**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- SANTOS, Willex Alves dos. **Análise comparativa entre pavimentos flexíveis e rígidos: uma revisão bibliográfica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário FAEMA, Ariquemes, 2017.
- SOUZA, M. L. **Método de projeto de pavimentos flexíveis DNER**. - 1966. 25p.
- SOUZA, Murillo Lopes de. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.
- SUZUKI, Carlos Yukio et al. Considerações sobre a distribuição de pressões não uniforme e a condição de aderência das camadas em pavimentos asfálticos flexíveis. **Revista Pavimentação**, v. 18, n. 67, 2023.
- TAVARES, Luiz Ronaldo Starling. **Drenagem, pavimentação e urbanização de vias: composições de custos unitários**. Brasília: CONFEA: CREA-DF: ABEPv, 2014. 240 p.

APÊNDICE A – FOTOS EXEMPLOS DOS DADOS COLETADOS

Figura 19 – Veículo tipo Caminhão



Fonte: Arquivo próprio.

Figura 20 - Veículo tipo Bi Trem Articulado



Fonte: Arquivo próprio.

Figura 21 - Continuação da Figura 20



Fonte: Arquivo próprio.

APÊNDICE B – DADOS DO TRÁFEGO

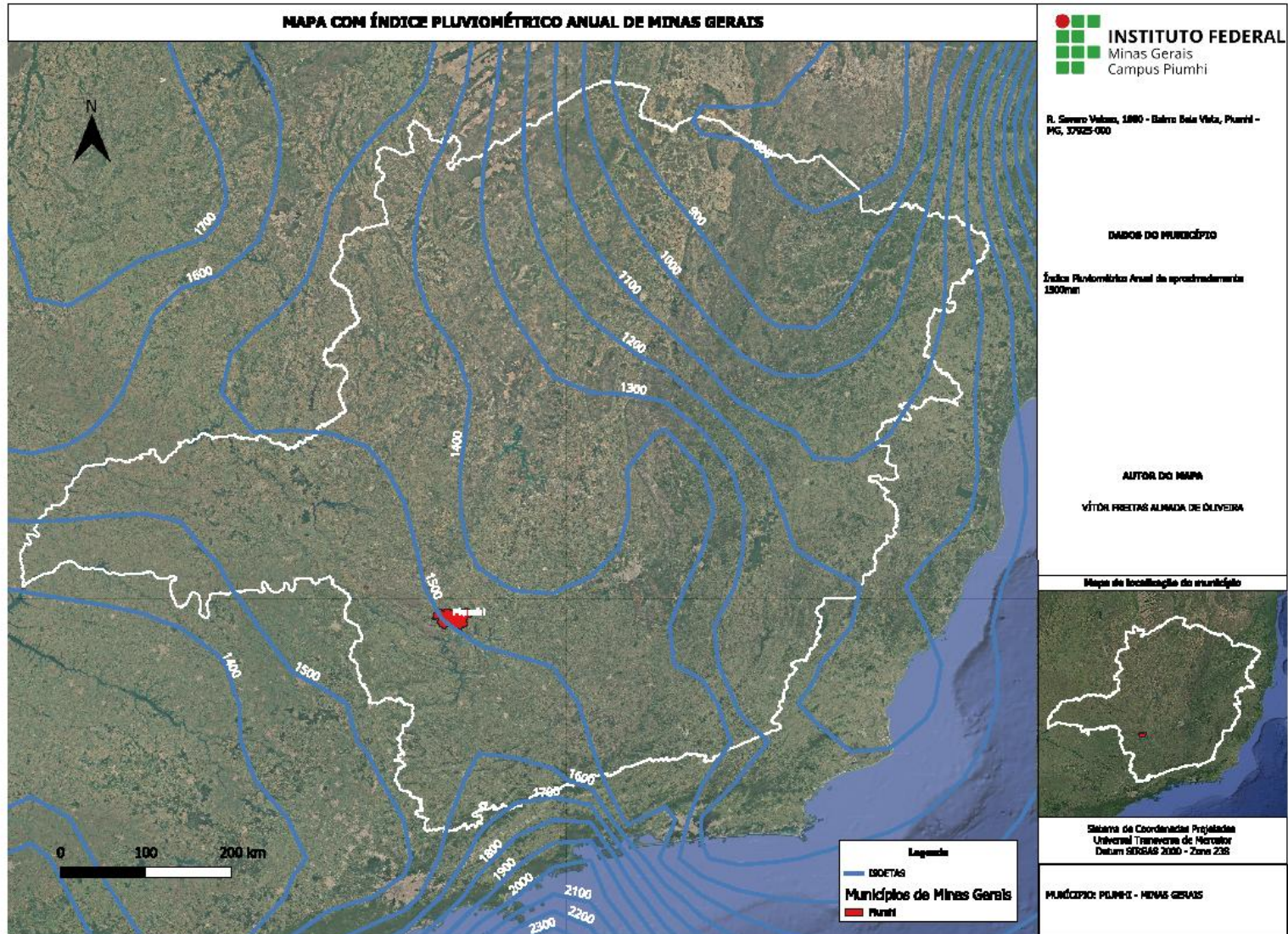
ESRS	ESRD	ETD	ETT	Total de Eixos	Tipo
1		1		3	1ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		1		3	1ESRS+1ETD
2		1		4	2ESRS+1ETD
2		1		4	2ESRS+1ETD
1		1		3	1ESRS+1ETD
1		1		3	1ESRS+1ETD
1		1		3	1ESRS+1ETD
1		3		7	1ESRS+3ETD
2		1		4	2ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
2		1		4	2ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		1	1	6	1ESRS+1ETD+1ETT
1		1		3	1ESRS+1ETD
2		1		4	2ESRS+1ETD
1		1		3	1ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	2	1		5	1ESRS+2ESRD+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		3		7	1ESRS+3ETD
2		1		4	2ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		1	1	6	1ESRS+1ETD+1ETT
1		1		3	1ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		1	1	6	1ESRS+1ETD+1ETT
1		1		3	1ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		1		3	1ESRS+1ETD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1		1	1	6	1ESRS+1ETD+1ETT
1	1			2	1ESRS+1ESRD
1	1			2	1ESRS+1ESRD

1		3	7 1ESRS+3ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
2		1	4 2ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		4	9 1ESRS+4ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
2		1	4 2ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
2		1	4 2ESRS+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		3	7 1ESRS+3ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1	1	4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	2	1	5 1ESRS+2ESRD+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1	1	4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		2	5 1ESRS+2ETD
1	1	1	4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1	2	6 1ESRS+1ESRD+2ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1	1	4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1	2	6 1ESRS+1ESRD+2ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1		1	3 1ESRS+1ETD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1		2 1ESRS+1ESRD
1	1	1	6 1ESRS+1ETD+1ETT

1	3			4 1ESRS+3ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	2		6 1ESRS+1ESRD+2ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		3		7 1ESRS+3ETD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		3		7 1ESRS+3ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		4		9 1ESRS+4ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1		1	5 1ESRS+1ESRD+1ETT
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1	1	1	7 1ESRS+1ESRD+1ETD+1ETT
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	3			4 1ESRS+3ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1		3		7 1ESRS+3ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD

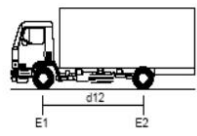
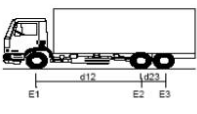
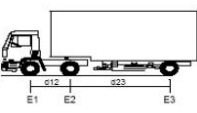
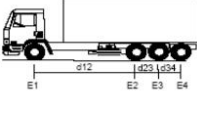
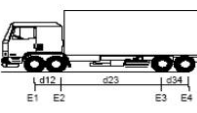

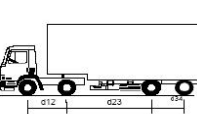
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1	1	7 1ESRS+1ESRD+1ETD+1ETT
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1	1		4 1ESRS+1ESRD+1ETD
1		1	1	6 1ESRS+1ETD+1ETT
1		1	1	6 1ESRS+1ETD+1ETT
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		4		9 1ESRS+4ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1	2		6 1ESRS+1ESRD+2ETD
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		3		7 1ESRS+3ETD
1		3		7 1ESRS+3ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1		1		3 1ESRS+1ETD
1	1		1	5 1ESRS+1ESRD+1ETT
1	1			2 1ESRS+1ESRD
1	1			2 1ESRS+1ESRD

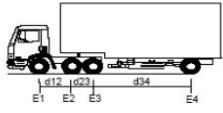
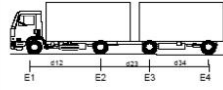
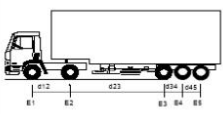
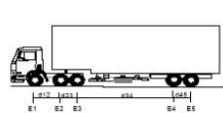
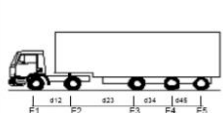
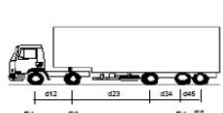
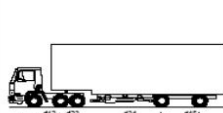
APÊNDICE C – MAPA COM ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO ANUAL DE MINAS GERAIS



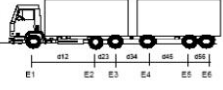
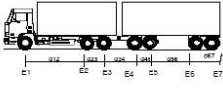
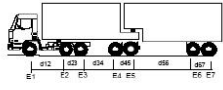
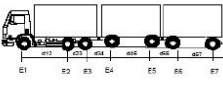
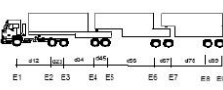
Anexo A – Figura 13 do Manual de Estudo de Tráfego, DNIT 2006

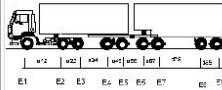
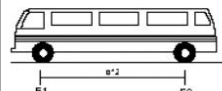
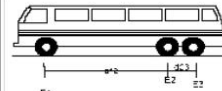
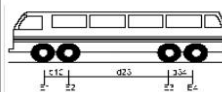
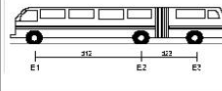
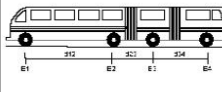
Figura 13 - Veículos adotados na classificação do DNIT

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

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

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

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

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

