

DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MONTE CARMELO E ABADIA DOS DOURADOS

Henrique Côrtes Cunha¹
Ricardo Fonseca de Oliveira²

RESUMO: Pavimento é uma estrutura de camadas com espessuras finitas, construída sobre solo natural destinada a suportar os esforços oriundos pelo tráfego de veículos e do clima da região, podendo ser classificado como flexíveis, semirrígidos e rígidos. O dimensionamento da camada de rodagem e realizar o estudo do tráfego de um pavimento flexível entre os municípios de Monte Carmelo e Abadia dos dourados pelo trecho da MG-190 são os objetivos gerais deste trabalho. Foi realizado o estudo do tráfego local, definindo número “N”; estabelecendo o volume de tráfego no início e final do período, volume médio diário e volume total de tráfego por uma tabela manual no período de uma semana com horário determinado entre as 06:00 e 11:00 da manhã. Depois, foi efetuado o dimensionamento da camada superficial de rodagem do pavimento e breve dimensionamento das camadas de Base e Sub-Base. O fato da existência da pandemia influencia diretamente no trânsito de pessoas pelas estradas devido ao isolamento social. Foi identificado o volume médio diário de 153 veículos comerciais. Definida também a classificação do trecho estudado de acordo com a quantidade de veículos comerciais por dia na faixa de tráfego mais solicitada. O revestimento é de maior custo em relação ao custo total do projeto de pavimentação e ambas as camadas subjacentes mostram o melhor custo-benefício na obra, seguindo as recomendações necessárias para serem adotadas.

Palavras-chave: Pavimento; Tráfego; Dimensionamento.

ABSTRACT: Pavement is a structure of layers with finite thicknesses, built on natural soil designed to withstand the efforts arising from the traffic of vehicles and the climate of the region, and can be classified as flexible, semirigid and rigid. The dimensioning of the shooting layer and study the traffic of a flexible pavement between Monte Carmelo and Abadia dos Dourados along the MG-190 are the general objectives. The study of local traffic was carried out, defining a number "N"; establishing traffic volume at the beginning and end of the period, average daily volume, and total volume of

¹ Graduando do curso de Engenharia Civil - Fundação Carmelitana Mário Palmério. Contato: henrique-cortes@hotmail.com

² Docente do curso de Engenharia Civil - Fundação Carmelitana Mário Palmério - Av. Brasil Oeste, s/n, Jardim Zenith - Monte Carmelo, Fone: (34) 3842 – 5272. Contato: ricardooliveira2013@gmail.com
GETEC, v.10, n.26, p.17-34/2021

traffic by a manual table over a period of a week with a set time between 06:00 and 11:00 a.m. Then, the surface layer of floor was sizing and brief sizing of the Base and Sub-Base layers. The fact that the existence of the pandemic directly influences the traffic of people on the roads due to social isolation. The average daily volume of 153 commercial vehicles was identified. Also, the classification of the section studied was defined according to quantity commercial vehicles per day in the most requested traffic range. The coating is more cost-effective in relation to the total cost of the paving project and both the underlying layers show the best cost-benefit in the work, following the recommendations necessary to be adopted.

Keywords: Floor, Traffic, Dimensioning.

1 INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura de camadas com espessuras finitas, construída sobre solo natural, sendo a superfície de terraplenagem destinada a suportar os esforços oriundos pelo tráfego de veículos e do clima da região em que é empregado, podendo ser classificado como flexíveis, semirrígidos e rígidos, com intuito de disponibilizar aos usuários a melhor condição de rodagem, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI et al., 2006).

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT) mais de 90% dos passageiros e 60% das mercadorias utilizam do modal rodoviário, fazendo com que, por dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tenham importância de 52,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do setor, sendo o maior gerador de riquezas entre os vários segmentos de transporte (IBGE, 2014). Este mesmo que também facilita e flexibiliza o acesso aos destinos rodoviários, desde as pequenas cidades aos grandes centros urbanos e tecnológicos. Contudo, as rodovias brasileiras possuem apenas 12,4% da malha rodoviária pavimentada e o estado precário contradiz com a grande expansão comercial do Brasil nos últimos anos, além de que essas mesmas são consideradas de ruins a péssimas pela conservação e pleno uso (CNT, 2018).

Através do Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) utilizando o Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), que é a referência para o estudo e dimensionamento de pavimento, consiste no uso do número “N” como parâmetro básico de cálculo. O número “N” se detém pela padronização da quantidade de um eixo padrão equivalente, de peso convencionado em 8,2 t (18.000 lb), sendo definido pela análise do tráfego local ou sua projeção esperada pelo tempo de projeto, podendo-se também classificar e caracterizar a via como: Tráfego Muito Leve, Tráfego leve, Tráfego Médio, Tráfego Pesado e Tráfego Muito Pesado (DNIT, 2006).

Pretende-se desta maneira, respeitando e seguindo o Método do DNER, dimensionar a camada de rodagem para o trecho da MG-190 entre Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, assim como suas camadas inferiores.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi elaborar o dimensionamento de um pavimento flexível entre os municípios de Monte Carmelo e Abadia dos dourados pelo trecho da MG-190.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Estudo do tráfego local, definindo número “N”;
- Dimensionamento da camada superficial de rodagem do pavimento;
- Breve dimensionamento das camadas de Base e Sub-Base.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento

O pavimento no ponto de vista estrutural é destinado a resistir à ação de forma direta do tráfego no local e transmitir essa mesma ação de forma reduzida às camadas inferiores até o terreno natural, também impermeabilizar a área para evitar desgastes, aumentando assim a vida útil do projeto (BERNUCCI et al., 2010).

Desta maneira são empregados comumente nos dias de hoje três tipos de revestimento no pavimento, os pavimentos asfálticos como pavimentos flexíveis e os pavimentos de concreto como pavimentos rígidos, além de existir também os pavimentos semirrígidos, porém não sendo foco como apresentação neste trabalho.

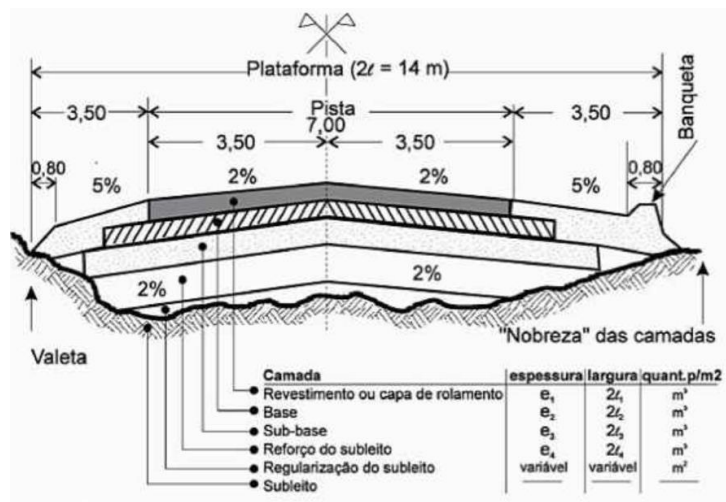
Segundo o DNIT, (2006), os pavimentos são classificados como:

- **Flexível**: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica;
- **Semirrígido**: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica;
- **Rígido**: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento.

2.1.1 Pavimento Flexível

“No caso geral, o pavimento flexível é constituído das seguintes camadas: Revestimento, Base, Sub-base, Reforço do Subleito e Subleito” (DNER, 1996, p. 157), e quando necessário, uma outra camada chamada de Regularização do Subleito em casos de áreas com aterro (SENÇO, 2007). A constituição do pavimento flexível pode ser exemplificada na Figura 1.

Figura 1 – Seção transversal típico pavimento flexível.



Fonte: Senço (2007).

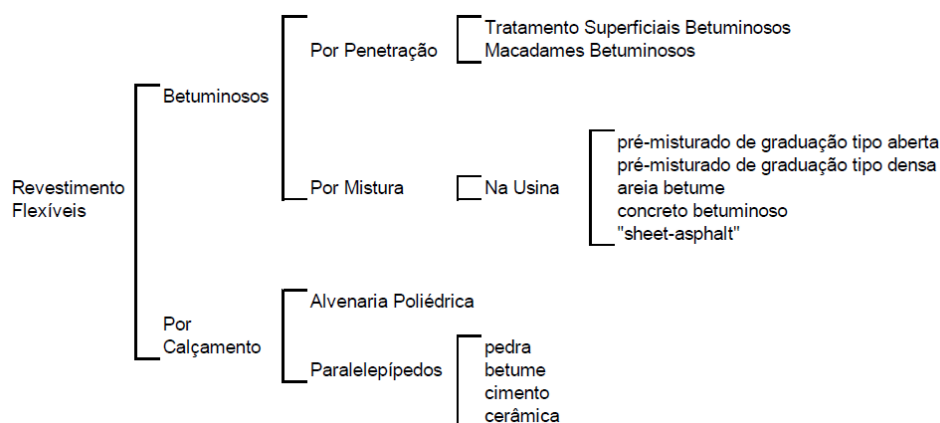
De mesma forma, essas camadas são definidas por Senço, (2007) da seguinte maneira:

- **Subleito**: É o terreno natural e de fundação para a estrutura do pavimento. Deve apresentar as características geométricas definitivas do projeto como inclinação de cada sentido da pista;
- **Reforço do Subleito**: Uma camada construída acima do Subleito, se necessário, de espessura constante, com características superiores ao encontrado no Subleito e inferiores ao encontrado na camada superior, a Sub-base;
- **Sub-base**: A camada construída acima do Reforço do Subleito, e também a camada complementar à Base, em casos por circunstâncias técnicas, não é aconselhado a construir a Base diretamente sobre o Reforço do Subleito ou sobre o Subleito em si. Seguindo a mesma lógica, devendo ter características superiores a camada abaixo e inferiores ao encontrado na camada superior, a Base;
- **Base**: De fato, a Base tem como princípio resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego de veículos e distribuí-los até as camadas inferiores, não afetando a estrutura do projeto. Complementando não ser obrigatório a implementação da Sub-base ou do Reforço do Subleito caso o tráfego local não solicite tais camadas pelo baixo fluxo;
- **Revestimento**: A camada que recebe diretamente os esforços do tráfego, como também, tem intuito de aprimorar a superfície de rodagem dando conforto e segurança para motoristas, e, resistindo ao desgaste com o tráfego mantendo tanto quanto possível sua impermeabilização, protegendo as camadas inferiores.

No dimensionamento dos pavimentos, serão fixadas as camadas que devem ser construídas, sendo lógico que Subleitos de boa qualidade exigem pavimentos menos espessos e, em consequência, poderão dispensar a construção de camadas como Reforço ou Sub-base (SENÇO, 2006, p. 20).

Segundo o Manual de Pavimentação DNIT, (2006), os pavimentos flexíveis são classificados de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Classificação dos pavimentos.



Fonte: Adaptado de DNIT (2006).

Dando destaque ao Pavimento Flexível Betuminoso por Mistura na Usina, gerando os dois tipos mais presentes e empregados nas estradas e rodovias do Brasil, temos essa classificação devido a temperatura em que a mistura de agregado e ligante são espalhados:

- **Pré-misturado a Frio:** da forma que agregado e ligante são espalhados na pista em temperatura ambiente da região;
- **Pré-misturado a Quente:** da forma que agregado e ligante são espalhados ainda quentes na pista.

A mistura de agregados e ligante é realizada em usina estacionária e transportada posteriormente por caminhão para a pista, onde é lançada por equipamento apropriado, denominado vibro acabadora. Em seguida é compactada, até atingir um grau de compressão tal que resulte num arranjo estrutural estável e resistente, tanto às deformações permanentes quanto às deformações elásticas repetidas da passagem do tráfego (BERNUCCI et al., 2010, p. 158).

2.1.2 Pavimento Rígido

Pavimento rígido é aquele com pouca deformação, constituído principalmente de concreto, uma mistura dosada requerida de maneira a escolha e finalidade da obra, uniforme e contendo agregados graúdos e miúdos, areia, cimento e água. Pavimento este que possui elevada rigidez em relação as camadas inferiores, e diferente dos pavimentos flexíveis, esta camada de concreto é a

camada que absorve praticamente todas as tensões provenientes do tráfego no projeto (BERNUCCI et al., 2010).

O emprego do pavimento rígido na pavimentação, pode ou não conter barras metálicas, chamadas de barras de transferência.

2.2 Revestimento

De forma geral, os revestimentos asfálticos do pavimento flexível betuminoso, que é principal foco de estudo deste trabalho, são constituídos pela mistura de materiais betuminosos derivados do petróleo, como também de agregados.

Desta maneira, seguindo a Figura 2, temos que os revestimentos flexíveis betuminosos são empregados das seguintes formas:

- **Penetração**: uma ou mais aplicações do material betuminoso asfáltico e de mesma quantidade a compressão no mesmo de agregado com boa distribuição granulométrica;
- **Mistura**: o agregado é previamente misturado antes de ocorrer a compressão juntamente com o material asfáltico.

O de maior empregabilidade e mais difundido é o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), se encaixando na categoria de Mistura, é o mais nobre, consistindo na mistura de agregado satisfazendo rigorosa especificação, e material betuminoso extremamente bem dosado (SENÇO, 2007).

A mistura é feita em usina, com rigoroso controle de granulometria, teor de betume, temperaturas do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão, sendo mesmo o serviço de mais acurado controle dos que compõem as etapas da pavimentação (SENÇO, 2007, p. 27).

2.2.1 Betume

De acordo com Bernucci (2010, p. 25) “comumente é definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono” e denominado pela química como uma mistura escura e viscosa destilada do petróleo, rica em hidrocarbonetos pesados com outros compostos. É utilizada na pavimentação como um ligante, que apresenta boa junção dos agregados, e é impermeável a água. Este mesmo apresenta alta durabilidade e resistência aos esforços de contato e movimento oriundos da grande variedade de cargas e velocidade transmitidas pelos veículos.

2.2.2 Agregados

Definido pela ABNT NBR 9935/2011 que trata de Agregados-Terminologia, agregado é o material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de

argamassa ou concreto, tendo suas definições quanto as dimensões dos grãos, podendo ser denominada como agregado graúdo, agregado miúdo e enchimento fíler.

Tais dimensões dos agregados são determinadas pela norma do DNIT 031/2004 – ES como sendo:

- **Graúdo**: é o material com dimensões maiores do que 2,0mm, ou seja, retido na peneira número 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.;
- **Miúdo**: é o material com dimensões maiores que 0,075mm e menores que 2,0mm. É o material que é retido na peneira de número 200, mas que passa na de abertura número 10. São as areias, o pó de pedra etc.;
- **Material de enchimento (fíler)**: é o material onde pelo menos 65% das partículas é menor que 0,075mm, correspondente à peneira de número 200, e.g., cal hidratada, cimento etc.

O agregado escolhido tanto para pavimentos flexíveis ou pavimentos rígidos, deve apresentar propriedades e características destinadas a suportar as tensões impostas na superfície do pavimento oriundas do tráfego. Tais propriedades e características do agregado dependem da maneira em que foram produzidas ou extraídas, e também a forma que são unidas pelos ligantes asfálticos (BERNUCCI et al., 2010).

2.3 Número de solicitações do eixo padrão – Número “N”

O Revestimento do pavimento é dimensionado de acordo com o número “N” de operações de um eixo padrão com carga de 8,2 t (18.000 lbs) durante o período de projeto, este estimado para cada caso. Alguns fatores podem influenciar na determinação do número “N”, de certa forma originando a equação final, DNIT, (2006).

$$N = 365.V_m.P.FC.FE.FR \quad (\text{Eq. 1})$$

- Volume de tráfego no início do período (V_1);
- Volume diário médio anual (VDMA);
- Volume de tráfego ao final do período (V_p);
- Taxa de crescimento anual em porcentagem e em progressão aritmética (t);
- Volume médio diário (V_m);
- Período de projeto (P);
- Volume total de tráfego (V_t);
- Fator de eixos (FE);
- Fator de equivalência de cargas (FC);
- Fator de veículos (FV);

- Fator Climático Regional (FR).

2.4 Dimensionamento do pavimento

O dimensionamento do pavimento se baseia na determinação das camadas constituintes do pavimento flexível, Revestimento, Base, Sub-base, Reforço do Subleito, de forma que essas camadas resistam de maneira efetiva, transmita e distribua os esforços resultantes do tráfego de veículos até o Subleito, não afetando a estrutura do pavimento nem causando rupturas na camada superficial de rolamento (SENÇO, 2007).

O ensaio *California Bearing Ratio* (CBR), é o método para avaliar o comportamento de um solo mais difundido e aceito na área da pavimentação. Senço (2007, p. 219) afirma sendo CBR “a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada [...]”, e de forma intuitiva é possível dizer que solos que apresentam maiores valores de CBR, com máximo de 100%, devem da mesma maneira apresentar maior resistência à compressão (SENÇO, 2007).

“O valor dessa relação, expressa em porcentagem, permite determinar, por meio de equações empíricas, a espessura de pavimento flexível necessária, em função do tráfego” (DNIT, 2006, p. 37).

3 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”

Como previamente visto, o número “N” será determinado pela (Eq. 1), porém ainda será necessário distinguir todos seus fatores e componentes de cada equação, da seguinte forma:

- Volume de tráfego no início do período:

$$V_1 = \frac{VMDA}{n^{\circ} \text{ de faixas}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde na Equação 2 o VMDA é o Volume diário médio anual.

- Volume de tráfego ao final do período:

$$\text{Linear: } V_p = V_1 \cdot (1 + P \cdot t) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Exponencial: } V_p = V_1 \cdot (1 + t)^P \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde na Equação 3 e 4 o P é o Período de projeto e t é Taxa de crescimento anual.

- Volume médio diário:

$$V_m = \frac{V_1 + V_p}{2} \quad (\text{Eq. 5})$$

- Volume total de tráfego:

$$V_t = 365 \cdot V_m \cdot P \quad (\text{Eq. 6})$$

- Fator de veículos:

$$FV = FE \cdot FC \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde na Equação 7 o FE é o Fator de eixos e FC é Fator de equivalência de cargas.

- Fator de eixos:

$$FE = \sum n^{\circ} \text{ de eixos do veículo. \% determinado veículo em relação ao total} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde na Equação 8 o número de eixos do veículo pode ser encontrado na Figura 6.

- Fator de equivalência de cargas:

$$FC = \sum \% \text{ determinado veículo em relação ao total. fator de equivalência} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde na Equação 9 o Fator de equivalência é determinado de acordo com a Figura 5.

- Número de repetições do eixo padrão “N”

$$N = V_t \cdot FV \cdot FR \quad (\text{Eq. 10})$$

3.1 Volume de tráfego

De acordo com o Manual de Estudos de tráfego DNIT (2006), Volume de tráfego é definido como a quantidade de veículos que transitam por uma seção da via, por um período de tempo, e sua unidade é expressa em veículos/dia (vpd). Definido para forma de contabilização, o local escolhido para a realização da contagem do volume de tráfego foi um posto de pesagem do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DEER/MG) situado à 6 km da cidade de Monte Carmelo, escolhido estrategicamente pelo fato dos veículos que transitam reduzem a velocidade na área, facilitando desta maneira a contagem dos mesmos.

Para o estudo de forma relevante para este trabalho, foram tomadas como base de medição a Tabela 1 e a Figura 3, determinando desta maneira o objetivo inicial, que é a determinação do número “N” para o trecho mencionado da MG-190 de Monte Carmelo a Abadia dos Dourados.

Tabela 1 – Ficha de contagem volumétrica

Dimensionamento de um Pavimento Flexível

ESTADO

RODOVIA

CÓD. PAV.

TRECHO

POSTO

LOCAL DA CONTAGEM
MARCO QUILOMÉTRICO

DATA DA CONTAGEM

HORA INÍCIO

HORA TÉRMINO

SENTIDO
A → B
B → A

PERÍODO (h)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES														OUTROS	TOTAL
	Autos	Camionetas	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos			

OBSERVAÇÕES

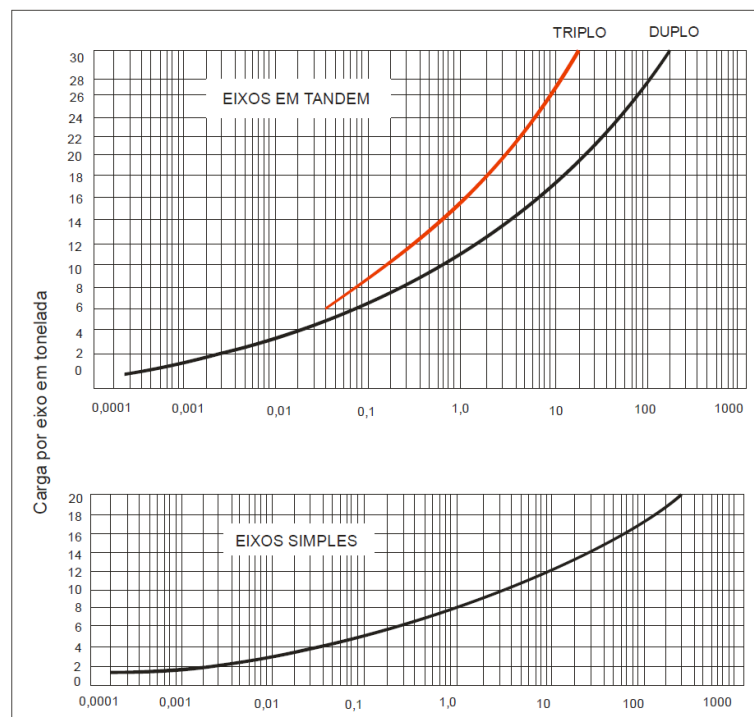
CONTADOR

Fonte: DNIT (2006).

Classificando-os por tipo de transporte de acordo com a Tabela 1, são desta maneira: veículos leves entre carros de passeio e camionetas, ônibus como transporte coletivo e também caminhões de carga leve a pesada. Tal contagem volumétrica é para determinação do Volume diário médio, sendo semanal ou mensal (VDMS / VDMM), como também o Volume total de tráfego anual (V_t).

Assim que contabilizados a quantidade de cada tipo de veículo, é determinado pela Figura 5 o Fator de equivalência utilizado na equação 9, e dependendo se Eixo Simples ou Eixos em Tandem, duplo ou triplo. Este mesmo fator determinante para cálculo do número “N”.

Figura 3 – Fatores de equivalência



Fonte: Senço (2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De grande importância o atual estado de saúde no mundo, no ano de 2020, pela pandemia causada pelo COVID-19, este que influencia diretamente no trânsito de pessoas pelas estradas brasileiras, evidenciado pelo distanciamento social. Como forma de prevenção de contágio da doença, trabalhadores e famílias deixaram de transitar pelas estradas do Brasil, também sendo afetada pela situação o trecho de estudo, reduzindo consideravelmente o tráfego na área. Mesmo para maneira de conhecimentos deste trabalho, não foi possível estimar ou calcular precisamente o impacto sofrido pelo tráfego no local.

4.1 Volume do tráfego

Obteve-se através da contagem manual do volume de tráfego com a Tabela 1 mostrada, demonstrando desta maneira, o volume do tráfego dentro do período de uma semana. Essas mesmas contagens foram feitas com horário determinado entre as 06:00 e 11:00 da manhã.

Fazendo uma breve análise das tabelas, é notado maior volume de tráfego de veículos particulares e camionetas com picos de maior trânsito logo pela manhã entre as 07:00 e 09:00. Posteriormente, decaindo cada vez mais até as 11:00 da manhã, retomando um pico de maior tráfego neste horário, acreditado pelo horário comercial da região, fazendo sentido a distribuição desta maneira.

De acordo com Senço (2007) e a análise feita com as tabelas de contagem volumétrica a classificação ideal para o trecho estudado neste trabalho é a de Tráfego Médio, possuindo um trânsito entre 50 e 400 veículos comerciais por dia na faixa de tráfego mais solicitada.

Tabela 2 – Fluxo volumétrico do tráfego

Fluxo Volumétrico de Tráfego				
Data de coleta	Veículos Leves	Caminhões	Ônibus	Total
14/09/2020	626	275	0	901
16/09/2020	545	258	05	808
17/09/2020	506	286	06	798
18/09/2020	521	240	03	764
19/09/2020	804	222	0	1026
Total	3002	1281	14	4297

Fonte: Autor (2020).

4.2 Dimensionamento do pavimento

É sabido que a estrutura no trecho estudado se dá pela constituição de um pavimento flexível, contudo, não é de posse todos os dados que constituem as características das camadas inferiores ao revestimento, como suas espessuras ou qualidade dos materiais utilizados. Desta forma, com os dados adquiridos pela contagem manual do tráfego será feito o dimensionamento pelo método do DNER, primeiramente determinando número “N”, quantidade de um eixo padrão.

4.2.1 Determinando o número “N”

Devemos fazer algumas ressalvas, por exemplo:

- A contagem volumétrica do tráfego no trecho da MG-190 foi feita nos dois sentidos da pista, portanto deve-se colocar que o volume é de 50% (cinquenta por cento) para cada sentido;
- Volumes diários do tráfego serão apenas utilizados os veículos comerciais devido sua alta influência com o Fator de eixos;
- O Período de Projeto será de 10 anos;
- O Fator Climático Regional sendo 1,00, igualmente usado no Memorial Descritivo para Pavimentação da LMG-746 disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Monte Carmelo;
- A Taxa de Crescimento Anual de forma exponencial de 3,0%, extraído de mesma forma do Memorial Descritivo para Pavimentação da LMG-746.

Temos então:

- Volume Diário Médio Anual

$$VDMA = \frac{\sum VDM}{n^{\circ} \text{ de dias de contagem}} \quad (\text{Eq. 11})$$

$$VDMA = \frac{275 + 263 + 292 + 243 + 222}{5} = 259 \text{ Veículos}$$

➤ Volume de tráfego no início do período:

$$V_1 = \frac{VDMA}{n^{\circ} \text{ de faixas}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$V_1 = \frac{259}{2} = 130 \text{ Veículos}$$

➤ Volume de tráfego ao final do período:

$$V_p = V_1 \times (1 + t)^P \quad (\text{Eq. 4})$$

$$V_p = 130 \times \left(1 + \frac{3}{100}\right)^{10} = 175 \text{ Veículos}$$

➤ Volume médio diário:

$$V_m = \frac{V_1 + V_p}{2} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$V_m = \frac{130 + 175}{2} = 153 \text{ Veículos}$$

➤ Volume total de tráfego:

$$V_t = 365 \times V_m \times P \quad (\text{Eq. 6})$$

$$V_t = 365 \times 153 \times 10 = 558.450 \text{ Veículos}$$

➤ Fator de eixos:

$$FE = \sum n^{\circ} \text{ de eixos do veículo} \times \% \text{ determinado veículo em relação ao total} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$FE = 2 \times 0,223 + 3 \times 0,248 + 4 \times 0,053 + 5 \times 0,063 + 6 \times 0,412 = 4,189$$

➤ Fator de equivalência de cargas:

$$FC = \sum \% \text{ determinado veículo em relação ao total} \times \text{fator de equivalência} \quad (\text{Eq. 9})$$

Pelo fato de não se poder verificar ou pesar cada veículo que constitui o volume do tráfego Senço (2007) reforça que: caso haja deficiência de dados ou mesmo que não os tenha, é recomendado adotar-se de maneira que $FC = 1,70$.

➤ Fator de veículos:

$$FV = FE \times FC \quad (\text{Eq. 7})$$

$$FV = 4,189 \times 1,70 = 7,121$$

➤ Número de repetições do eixo padrão “N”

$$N = V_t \times FV \times FR \quad (\text{Eq. 10})$$

$$N = 558.450 \times 7,121 \times 1,0 = 3,97 \times 10^6$$

4.2.2 Espessura de Revestimento

E, após encontrado o resultado para o número “N”, é através da Tabela 3 que se determinará a espessura mínima do revestimento no qual será aplicado na área do estudo, atendendo todos os pré-requisitos de usabilidade, conforto, economia e segurança na melhor condição de rodagem.

Tabela 3 – 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

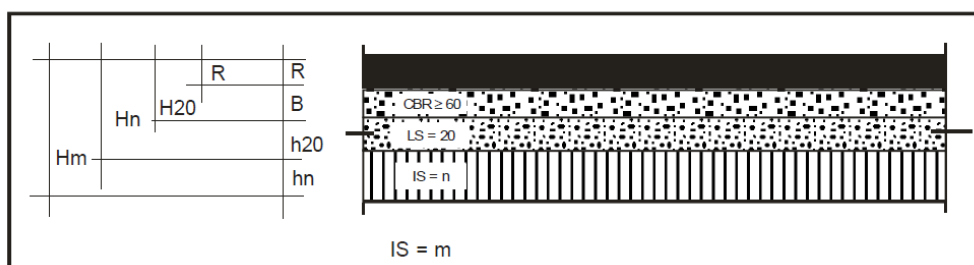
Fonte: Adaptada de DNIT (2006).

Com tudo já definido e exemplificado, a espessura mínima adequada a ser aplicada de acordo com o número “N” encontrado, sendo ele de $3,97 \times 10^6$, é com Concreto Betuminoso com 5,0 centímetros de espessura mínima.

4.2.3 Espessuras das Camadas

Primeiramente de acordo com DNIT (2006) é apresentada a simbologia empregada na distribuição das camadas da estrutura para fins de cálculo, determinadas pela Figura 4, nos quais: H_m é a espessura total do pavimento, h_n é a espessura de camada do pavimento com CBR ou I.S. = n, R se trata da espessura de revestimento e B da espessura da camada de base.

Figura 4 – Dimensionamento do pavimento



Fonte: DNIT (2006).

Um ponto importante é destacar que mesmo o CBR ou I.S. da camada de sub-base seja maior que 20, o máximo adotado será 20, como será mostrado na Figura 9, desta maneira a simbologia usual deverá ser H20 e h20.

No dimensionamento das espessuras das camadas citadas acima, com H_m , H_n e H_{20} determinadas pela Figura 9, Revestimento (R) já foi determinado via cálculo anteriormente, as espessuras das camadas de Base (B) e Sub-Base (h20), serão obtidas pelas seguintes inequações existentes:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n \quad (\text{Eq. 13})$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{Ref} \geq H_m \quad (\text{Eq. 14})$$

Tomada nota que, pelo Número “N”, solicitação de eixo padrão encontrado, a estrutura de camadas calculadas a seguir não possuirá Reforço do Subleito (h_n), este não sendo necessário para sua constituição devido baixa solicitação.

Para a escolha adequada no dimensionamento, será feito um tipo de proposta de estrutura para determinar as espessuras das camadas, seguindo a mesma ordem e disposição dessas camadas citadas anteriormente, sendo elas: Revestimento, Base e Sub-Base. Porém é de grande importância o conhecimento do valor CBR de todas as camadas constituintes. Sem a possível análise de solo, serão adotados CBR de 80% para a Base, 20% para Sub-Base.

A camada de revestimento será a mesma, seguindo a proposta deste trabalho e já informada anteriormente, sendo o CBUQ. Para as camadas subsequentes teremos como utilização a Brita Graduada Simples (BGS), prevendo o menor custo na obra.

Peça importante neste dimensionamento de camadas é que, segundo DNIT (2006), a espessura mínima a ser adotada nas camadas de Base e Sub-Base é de 15 cm.

A proposta de estrutura e seus respectivos materiais serão apresentados a seguir na Figura 5.

Figura 5 – Alternativa de estrutura das camadas



Fonte: Autor (2020).

Lembrando que, a espessura de revestimento já dimensionada previamente será mantida, sendo assim a próxima etapa está em determinar as espessuras das demais camadas. Observemos pelo Coeficiente de Equivalência K, mostrada na Tabela 4, dependendo do material utilizado na camada em questão a ser calculada, seu resultado pode sofrer alterações significativas.

- Alternativa de estrutura das camadas: Revestimento em CBUQ, Base em BGS e Sub-Base em BGS.

Através da Tabela 4, determinaremos tais coeficientes referentes as camadas de Revestimento, Base e Sub-Base, sendo respectivamente: $K = 2,00$; $K = 1,00$; $K = 1,00$.

Tabela 4 – Coeficiente de Equivalência Estrutural

Dimensionamento de um Pavimento Flexível

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por 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: Adaptada de DNIT (2006).

Com todos os dados e inequações disponíveis, teremos os seguintes cálculos:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$5,0 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 22$$

$$\therefore B \geq 12 \rightarrow \text{Adotado } B = 15 \text{ cm (mínimo)}$$

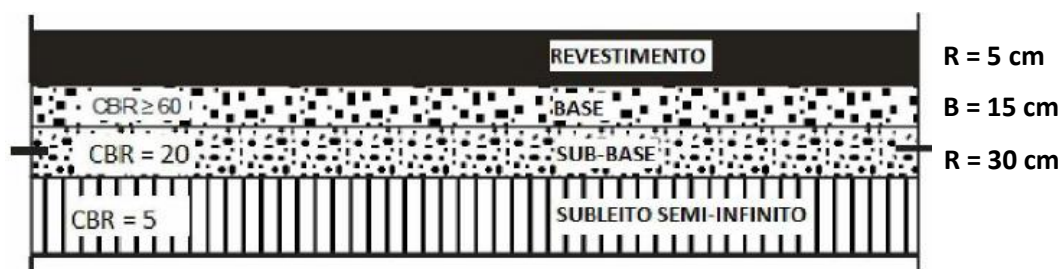
$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n \quad (\text{Eq. 13})$$

$$5,0 \times 2,0 + 15 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 \geq 55$$

$$\therefore h_{20} \geq 30 \text{ cm}$$

A seguir, sendo a Figura 6 ilustra detalhadamente a disposição das camadas e suas respectivas espessuras.

Figura 6 – Espessuras das camadas do Pavimento Flexível



Fonte: Adaptada de Senço (2007).

5 CONCLUSÃO

O trecho estudado neste trabalho, no qual se trata da MG-190, trecho este que liga as cidades de Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, é de extrema importância e tem um grande impacto socioeconômico para a região, ligando diversas fazendas, povoados rurais e também a outras cidades como Douradoquara, e indo mais além, a cidade de Coromandel, mas também fazendo ligação prévia com o estado de Goiás através da BR-352.

De acordo com o estudo do tráfego e com a contagem volumétrica do trecho, foi possível então determinarmos o volume médio diário de 153 veículos comerciais, como também as espessuras mínimas das camadas de revestimento para rodagem, da base e sub-base para suportar as solicitações necessárias oriundas do tráfego local, sendo respectivamente de 5 cm, 15 cm e 30 cm. Determinações estas dadas pelo revestimento sendo de maior custo em relação ao custo total do projeto de pavimentação e ambas as camadas subjacentes prevendo o melhor custo-benefício na obra, contudo seguindo as recomendações necessárias para serem adotadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935**: agregados: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 12 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=86085>. Acesso em: 15 abr. 2020.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: ADEBA, 2010. 504 p. Disponível em: <http://www.abeda.org.br/livro-pavimentacao/>. Acesso em: 4 abr. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. O transporte move o brasil: Resumo das propostas da CNT ao país. **Agência CNT Transporte Atual**. Brasília, 2018. 108 p. Disponível em: <https://cnt.org.br/propostas-cnt-transporte>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é privada. **Agência CNT Transporte Atual**, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>. Acesso em: 10 abr. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: DNER, 1996. 320 p. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/jalmeida/estradas/material-didatico/DNER%201996.pdf/at_download/file. Acesso em 10 abr. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 384 p. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o_05.12.06.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 031/2004 - ES: Pavimentos flexíveis: Concreto asfáltico: Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: DNIT, 2004. 16 p. Disponível em:

http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/dnit031_2004_es.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Logística dos Transporte:** O que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15793-logistica-dos-transportes.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 4 abr. 2020.

LOPES, Óscar Miguel Moreira. **Misturas Betuminosas:** Determinação das características para o cálculo dos pavimentos. 2009. Tese (Mestrando em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2009. 75 p. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57510/1/000142410.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2020.

MORAES, Gustavo Henrique Oliveira. **Análise de alternativas de dimensionamento asfáltico para uma rodovia de alto volume de tráfego.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. 74 p. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19597>. Acesso em: 02 nov. 2020.

OLIVEIRA, Ivan Carlos de. **Dimensionamento do pavimento da rodovia LMG-746 no município de Monte Carmelo/MG.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Fundação Carmelitana Mário Palmério, Monte Carmelo, 2019. 23 p. Disponível em: <http://repositorio.fucamp.com.br/handle/FUCAMP/509>. Acesso em: 25 abr. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTE CARMELO (Monte Carmelo). Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Urbanos. Memorial. **Memorial descritivo pavimentação da LMG-746 acesso ao Campus Araras UFU Monte Carmelo,** Monte Carmelo, 2011. Disponível em: <http://www.montecarmelo.mg.gov.br/uploads/0002-MEMORIAL-DESCRITIVO-REV01.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SANTOS, Fernanda Richardelli de Castro; COELHO, Lorena Melo. **Estimativa de vida útil de um pavimento através do método mecanístico-empírico:** Estudo de Caso: BR-493: Lote 1 do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2018. 215 p. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2018/05/Estimativa-de-Vida-%C3%9Atil-de-um-Pavimento-Atrav%C3%A9s-do-M%C3%A9todo-Mecan%C3%ADstico-emp%C3%ADrico-Estudo-de-Caso-BR493-.Fernanda-Richarlli-de-Castro-Santos-e-Lorena-Melo-Coelho.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2020.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação:** Volume I. 2. ed. São Paulo: PINI, 2007. 777 p.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação:** Volume II. 1. ed. São Paulo: PINI, 2001. 686 p.