



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Grasiele Martins Gontijo

**Estudo do tráfego e da viabilidade de dimensionamento de
um pavimento ideal para o Campus Morro do
Cruzeiro/UFOP – Ouro Preto/MG**

Ouro Preto

2021

Estudo do tráfego e da viabilidade de dimensionamento de um pavimento ideal para
o Campus Morro do Cruzeiro/ UFOP – Ouro Preto/MG

Grasiele Martins Gontijo

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 15/12/2021

Área de concentração: Transportes e Infraestrutura

Orientador: Profa. D.Sc. Daniela Antunes Lessa– UFOP

Coorientador: M.Sc. Hebert da Consolação Alves – UFOP

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G641e Gontijo, Grasielle Martins.

Estudo do tráfego e da viabilidade de dimensionamento de um pavimento ideal para o Campus Morro do Cruzeiro/ UFOP – Ouro Preto/MG. [manuscrito] / Grasielle Martins Gontijo. - 2021.
54 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa.

Coorientador: Me. Hebert da Consolação Alves.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Pavimentos. 2. Análise dimensional. 3. Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). 4. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). I. Alves, Hebert da Consolação. II. Lessa, Daniela Antunes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

Estudo do tráfego e da viabilidade de dimensionamento de um pavimento ideal para
o Campus Morro do Cruzeiro/ UFOP – Ouro Preto/MG

Grasiele Martins Gontijo

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 15/12/2021

Banca examinadora:

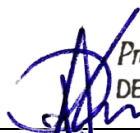
Orientador: Profa. D.Sc. Daniela Antunes Lessa - UFOP

Co-orientador: M.Sc. Hebert da Consolação Alves - UFOP

Membro: Profa. D.Sc. Sandra Maria Antunes Nogueira - UFOP

Membro: Prof. D.Sc. Ronderson Queiroz Hilário - UFMG

Presidente da banca:



Profa. Daniela Antunes Lessa
DECIV Escola de Minas/UFOP
SIAPE: 1.280.170

Profa. D.Sc. Daniela Antunes Lessa - UFOP

AGRADECIMENTOS

Agradeço à orientadora Profa. D.Sc. Daniela Antunes Lessa e ao coorientador M.Sc. Hebert da Consolação Alves, que me deram todo apoio e orientação para a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, e do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, pelos conhecimentos transmitidos.

À minha família, figuras insubstituíveis nesse processo, por cada palavra de amor, de incentivo, por toda a dedicação, por entender a distância, por ser meu porto seguro.

RESUMO

Utilizado com o intuito de propiciar aos usuários conforto ao se deslocar, e com o objetivo de resistir aos esforços resultantes do tráfego de veículos e do clima, o pavimento é um sistema de camadas sobre a superfície final da terraplanagem. Sendo o dimensionamento, portanto, um dos fatores que pode interferir no seu desempenho. Atualmente, no Brasil, é utilizado o método de dimensionamento empírico do DNER (1981). No entanto, evidenciou-se a necessidade de um método que considerasse o comportamento mecânico dos materiais presentes nas camadas e que simulasse a previsão de desempenho do pavimento durante sua vida de serviço. Assim, foi criado o novo método mecanístico-empírico que se encontra em fase de implementação no país, o método MeDiNa (2018). Nesse contexto, a presente pesquisa dedicou-se em dimensionar, a partir dos dois métodos citados, um revestimento ideal para o Campus Morro do Cruzeiro/UFOP, que seja compatível com o estudo de tráfego do local. Assim, utilizando a contagem volumétrica efetuada por Rodrigues (2018), foi possível realizar o cálculo do parâmetro “N”. Tendo como base os resultados da investigação das camadas do pavimento presente no Campus realizada por Faria et al. (2019), e empregando-os junto com o parâmetro “N” encontrado no ábaco do DNER (1981), dimensionou-se o pavimento pelo método empírico. A partir da aplicação do *software* MeDiNa, foi realizado o dimensionamento pelo método mecanístico-empírico, obedecendo os limites pré-estabelecidos por Franco e Motta (2020) de área de trincamento e deformação permanente. Assim, através do uso do ábaco e de cálculos, demonstrou-se que o pavimento dimensionado através do método do DNER (1981) necessita de uma espessura de revestimento de 5 cm, 15 cm de base, 10 cm de sub-base e 67 cm de subleito. Enquanto que, o *software* MeDiNa dimensionou uma estrutura com uma camada de revestimento de 10 cm, 20 cm de base e 20 cm de sub-base, considerando o subleito uma camada semi-infinita. Desse modo, verificou-se que o dimensionamento efetuado pelo novo método, *software* MeDiNa, colabora com a viabilidade a longo prazo e o pavimento tende a alcançar seu tempo de vida útil com maior segurança, gerando economia em relação à conservação da malha rodoviária. Palavras- chaves: Pavimento; Métodos de Dimensionamento; MeDiNa; DNER.

ABSTRACT

Pavement is a layer system above the landscaping surface, intended to bring comfort to travellers and to resist the straining of car traffic. Sizing is one factor that can intervene in pavement performance. In Brazil, the current methodology adopted for sizing is DNER's empirical sizing (1981). However, the need for a method that reckons the mechanical behaviour of materials present in layers and that is able to predict pavement performance over years, led to the creation of a new mechanical-empirical method, MediNa (2018), still in implementation phase. In light of this issue, this research dedicates itself to the sizing of an accurate coating for Morro do Cruzeiro/UFOP Campus, using both methods above, aiming to give the infrastructure a longer life cycle and full compatibility to local traffic. Using volumetric count proposed by Rodrigues (2018), it was possible to calculate "N" parameter. Based on the results achieved by Faria et. al (2019) investigation of pavement layers in the campus, and application of "N"parameter from DNER's abacus (1981), pavement was sized by empirical method. Using the software MeDiNa, pavement sizing was made through mechanical-empirical method, in conformity to the limits established by Franco e Motta (2020) in the field of cracking and permanent deformity. So, through the use of the abacus and calculations, it was demonstrated that the pavement dimensioned using the DNER(1981) method needs a coating thickness of 5 cm, 15 cm base, 10 cm sub-base and 67 cm of subgrade. Meanwhile, the MeDiNa software dimensioned a structure with a 10 cm cladding layer, 20 cm base and 20 cm sub-base, considering the subgrade a semi-infinite layer. Thus, it was found that the dimensioning carried out by the new method, the MeDiNa software, collaborates with long-term viability and the pavement tends to reach its useful life with greater safety, generating savings in relation to the conservation of the highways.

Keywords: Floor; Dimensioning Methods; MeDiNa; DNER.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do pavimento flexível. Fonte: Bernucci (2010).....	10
Figura 2 - Resposta mecânica dos pavimentos rígido e flexível. Fonte: Araújo (2016).....	11
Figura 3 - Ábaco espessura do pavimento dado pelo valor de N e o CBR. Fonte: Souza (1981).....	14
Figura 4 - Esquema de camadas do pavimento. Fonte: DNIT (2006).	14
Figura 5 - Fluxograma parâmetro N.	21
Figura 6 – Fluxograma com etapas para o dimensionamento do pavimento - método DNER	22
Figura 7 – Fluxograma de dimensionamento de pavimentos método MeDiNa. Fonte: Motta e Medina (2005).	23
Figura 8 - Resultado do dimensionamento método DNER.....	27
Figura 9 - Tabela para cálculo do Fator de Veículo (FV).....	28
Figura 10 - Dados do tráfego.....	29
Figura 11 - Propriedades do Subleito.....	30
Figura 12 - Propriedades da Camada 3 (Sub-base).....	30
Figura 13 - Propriedades da Camada 2 (Base).....	31
Figura 14 - Propriedades do revestimento.	31
Figura 15 - Avaliação estrutural.....	32
Figura 16 - Resultado dimensionamento método MeDiNa.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos materiais do pavimento.....	13
Tabela 2 - Coeficiente de equivalência estrutural DNIT.	15
Tabela 3 - Tipo de revestimento em relação aos valores de N e espessuras mínimas.	16
Tabela 4 - Critérios e confiabilidade de acordo com o tipo de via	17
Tabela 5 - Média do volume de cada classe de veículos nas duas portarias.....	24
Tabela 6 – Fator de Eixo (FE).	25
Tabela 7 - Resultados CBR/ISC.....	26
Tabela 8 – Contagem de tráfego em %.....	27

LISTA DE SIGLAS

% – porcentagem

AASHTO – *American Association Standard Highway and Transportation Officials*

ABCB – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas

B – espessura da camada da base

CBR – *California Bearing Ratio*

CCP – Concreto de Cimento Portland

CENPES – Centro de Pesquisas da Petrobrás

CIA – Central Intelligence Agency

cm – centímetros

CNT – Confederação Nacional do Transporte

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes

FC – Fator de Carga

FE – Fator de Eixo

FV – Fator de Veículo

FETRANSPOR – Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro

H_m – espessura total do pavimento

H_n – espessura resultante da soma das camadas de base, sub-base e revestimento

H_{20} – espessura resultante da soma da base e do revestimento

h_{20} – espessura da camada de sub-base

h_n – espessura da camada de reforço do subleito

IG – Índice de Grupo

IGG – Índice de Gravidade Global

IP – Índice de Plasticidade

K_r – coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

K_b – coeficiente de equivalência estrutural da base

K_s – coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

K_n – coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito

LABFER – Laboratório de Ferrovias e Asfalto

LL – Limite de Liquidez

mm – milímetros

MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

N – Parâmetro de tráfego, número de repetições do eixo padrão

NBR – Norma Brasileira

P – Peso bruto total sobre o eixo

PGV – Polos Geradores de Viagens

PGT – Polos Geradores de Tráfego

R – espessura das camadas de revestimento

tf – Tonelada-força

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

V_o – Volume anual de veículos

V_{md} – Volume médio diário

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo Geral.....	3
1.1.1	Objetivos específicos	3
1.2	Estrutura do Texto	3
2	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Pavimentos em <i>Campi</i> Universitários	5
2.2	Estudo e caracterização de tráfego	8
2.3	Dimensionamento de pavimento	9
2.3.1	Dimensionamento método tradicional DNER (1981).....	13
2.3.2	Dimensionamento método MeDiNa	16
2.4	Viabilidade técnica e econômica do pavimento	17
3	Metodologia.....	21
3.1	Descrição área da pesquisa	21
3.2	Estudo e caracterização do tráfego	21
3.3	Dimensionamento método tradicional DNER (1981)	21
3.4	Dimensionamento método MeDiNa.....	22
3.5	Verificação da viabilidade de uma nova pavimentação	23
4	Resultados	24
4.1	Número de repetições por eixo padrão (N).....	24
4.2	Dimensionamento para o pavimento do Campus Morro do Cruzeiro (UFOP) - método tradicional DNER (1981).....	25

4.3	Dimensionamento para o pavimento do Campus Morro do Cruzeiro (UFOP) - método MeDiNa.....	27
5	Conclusão	33
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

De acordo com os dados da Confederação Nacional do Transporte, no Brasil, 78,5% do total da malha rodoviária existente no país não é pavimentada e, nos últimos dez anos houve um crescimento pouco expressivo, de 6,7% das vias pavimentadas. Por outro lado, no mesmo período, houve um aumento de 80,8% da frota de veículos no país (CNT, 2019). Quando esses crescimentos são comparados, verifica-se um grande desequilíbrio entre oferta e demanda por infraestrutura. Visando maior conforto os deslocamentos em vias pavimentadas são priorizados, aumentando a demanda sobre esse tipo de infraestrutura (CNT, 2019).

Segundo a NBR-7207/82 (ABNT, 1982) o pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem, que tem como objetivo resistir e distribuir, de forma suavizada, ao subleito os esforços horizontais e verticais produzidos pelo tráfego, bem como melhorar as condições de rolamento no que tange à comodidade e segurança. Porém, a má qualidade das vias, uma realidade brasileira, acarreta problemas relacionados à falta de conforto e segurança ao usuário, aumentando as possibilidades de acidentes, gerando despesas relativas à manutenção dos veículos e ao consumo de combustível (SILVA, 2017).

Nesse sentido, o aumento da demanda na rede rodoviária brasileira, atrelada à ação de agentes de intemperismo, e, conseqüente modificações físicas e químicas dos materiais componentes, tem como consequência a intensificação do processo de degradação, podendo ocasionar grandes deteriorações como trincas, panelas, deformações, entre outras patologias. Em comparação a outros tipos de estruturas usuais da engenharia civil, a velocidade de deterioração tende a ser superior em um pavimento, visto sua ampla exposição ao clima e a intensa solicitação pelas cargas de tráfego (RODRIGUES, 2007).

Ademais, a qualidade do pavimento é um dos fatores que interfere no custo operacional da atividade de transporte, uma vez que tem relação direta com o consumo de combustível, tempo de viagem, manutenção dos veículos e da própria estrutura. Um pavimento em estado não adequado de dimensionamento ou manutenção pode influenciar na segurança, agravando o risco de acidentes,

influenciando assim na qualidade de vida dos usuários. Dessa maneira, o DNIT irá implementar novo método de dimensionamento de pavimentação visando se adequar a realidade brasileira, o MeDiNa (2018), é uma ferramenta que considera as diferentes condições climáticas do país, prevê o surgimento de possíveis rachaduras e trincas com o passar dos anos, além de contar com o avanço tecnológico quanto aos materiais utilizados.

Segundo DNIT (2005), as soluções para manutenção de patologias devem ponderar às causas de deterioração e serem eficientes no reparo e prevenção ao reaparecimento dos defeitos. Desse modo, a análise das causas de patologias em pavimentos é imprescindível para que se possa entender as origens da deterioração do pavimento e, a partir desses e outros dados, escolher a solução mais viável de reparo ou reabilitação da infraestrutura. É válido reforçar que o conhecimento e o estudo das patologias em pavimentos permitem amenizar, ou até mesmo evitar tais problemas, a partir da devida implantação, respeitando os parâmetros do projeto e etapas da construção (SILVA, 2019b).

Um agravante das patologias nos pavimentos urbanos é o intenso tráfego. Segundo Melo (2017), Polos Geradores de Tráfego (PGT) são empreendimentos que atraem um alto volume de veículos, gerando impacto nas vias e no trânsito. Assim, devido ao fato de os *campi* universitários gerarem um alto fluxo de pessoas e veículos, esses são locais considerados PGT, necessitando, dessa forma, de um gerenciamento e estudo adequado das vias implantadas, de forma a atender às necessidades dos usuários, sem gerar danos à infraestrutura e ao ambiente no entorno.

Nesse contexto, propõe-se neste estudo dar sequência ao trabalho de Faria et al. (2019), realizado no Laboratório de Ferrovias e Asfalto (LABFER), da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que teve como objetivo a investigação das camadas do pavimento das vias do Campus Morro do Cruzeiro. Para tanto, será realizada uma avaliação dos resultados obtidos em Faria et al. (2019), que, juntamente com os dados de contagem volumétrica realizada em 2018, permitirão definir um pavimento ideal para a área de estudo, a partir da aplicação dos métodos de dimensionamento tradicional do DNER (1981) e MeDiNa (2018).

1.1 Objetivo Geral

Utilizando como base os resultados da investigação das camadas do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro/UFOP de Faria et al. (2019), o presente trabalho tem o objetivo de dimensionar, a partir do método tradicional do DNER (1981) e do método MeDiNa (DNIT, 2018) um revestimento ideal e compatível com o estudo de tráfego do local, de forma a garantir maior vida útil à infraestrutura.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos a seguir visam estruturar e embasar o desenvolvimento do estudo para que o propósito principal seja alcançado:

- Realizar pesquisas bibliográficas dos métodos de dimensionamento de pavimentos utilizados no Brasil;
- Realizar o estudo de tráfego do Campus Morro do Cruzeiro/UFOP com base na contagem volumétrica executada por Rodrigues (2018).
- Aplicar o MeDiNa para o dimensionamento do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro/UFOP;
- Estabelecer correlações e comparar os resultados obtidos pelo MeDiNA com o método tradicional de dimensionamento do DNER.

1.2 Estrutura do Texto

O presente trabalho divide-se em cinco capítulos. O primeiro faz uma introdução ao tema apresentando o objetivo do estudo e resumindo os assuntos tratados nas demais partes.

No capítulo 2 é realizada uma revisão de literatura onde é exposto e explicados os tópicos considerados os mais relevantes ao tema proposto nesse estudo.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos efetivamente empregados no desenvolvimento do presente trabalho. Com o estudo do tráfego, são descritos os métodos utilizados para o dimensionamento do pavimento, além da verificação da viabilidade de uma nova pavimentação.

O capítulo 4 trata dos resultados obtidos com o estudo, trazendo discussões a respeito do pavimento ideal para a área de estudo.

Finalmente, o quinto e último capítulo apresenta as conclusões e considerações finais do presente trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pavimentos em *Campi* Universitários

Os Polos Geradores de Viagens (PGV) são locais ou instalações que desenvolvem atividades com capacidade de produzir uma quantidade significativa de viagens. Podendo ser esses locais de diferentes naturezas: supermercados, shopping centers, hospitais, escolas e restaurantes (PORTUGAL e GOLDNER, 2003).

As Instituições de Ensino são consideradas PGV, uma vez que produzem um contingente significativo de viagens, e apresentam amplo destaque no contexto socioeconômico e geográfico de uma cidade, se tornando um tema recorrente nos estudos de mobilidade urbana. Os *campi* são locais urbanos com circulação de milhares de pessoas por dia que se deslocam na cidade em horários definidos, com impacto direto no tráfego no entorno e na redistribuição de trajetos de transporte coletivo (DUARTE et al., 2007). Sendo, então, essencial o desenvolvimento de pesquisas com o intuito de amenizar os impactos gerados no tráfego das cidades em decorrência da geração de viagens oriundos das instituições.

Conforme Nunes e Jacques (2005), cada campus universitário necessita de um estudo específico a respeito dos seus padrões de viagens, da estrutura oferecida e da cultura da população em questão. De acordo com o porte e localização do campus, a oferta de transporte público tende a ser diferenciada. E, conseqüentemente, o padrão de viagens da comunidade acadêmica sofre alterações e se adapta as condições locais (LIMANOND et al., 2011).

Goldner et al. (2012), analisaram a mobilidade no campus universitário em Florianópolis. Seu objetivo foi avaliar o perfil dos viajantes e as características das viagens através de pesquisas entre os usuários, e com isso detectar problemas na infraestrutura, no trajeto ou nos veículos, além de propor medidas para resolvê-los à luz das discussões sobre mobilidade sustentável.

O Guia da Mobilidade Sustentável, Fetranspor (2013), apresenta que, atualmente, o padrão de mobilidade tornou-se uma questão determinante da eficiência dos espaços urbanos e da qualidade de vida que oferecem a seus habitantes. Assim, cada vez mais é necessária uma mobilidade bem planejada, com

adoção de soluções modernas, integração de modos de transporte e alternativas energéticas eficientes e mais limpas.

A partir das décadas de 1990 as vias dos *campi* universitários, que eram construídas com paralelepípedos foram gradativamente substituídas por pavimentação asfáltica. A partir de então, surgiu a discussão em relação à viabilidade técnica, econômica e principalmente ambiental, em se asfaltar esse tipo de estrutura (CRUZ,2020).

Nesse sentido, Asaeda et. al. (1996) estudaram o fluxo de calor próximo à superfície do solo e demonstraram a importância da pavimentação na alteração da temperatura do ar para diferentes tipos de pavimentos como, asfalto, concreto e solo descoberto. A análise demonstrou que os pavimentos asfálticos absorvem substancialmente maiores quantidades de radiação solar durante o dia, conservando assim a temperatura da superfície alta durante toda a noite, contribuindo desta forma, para o aquecimento do ar. Essa contribuição foi efetivamente maior que a proporcionada tanto pela superfície de concreto quanto a do solo descoberto.

Além da temperatura, Borges (2009), a partir do estudo de caso no campus da Universidade Federal de Santa Catarina sobre a influência do ambiente construído no microclima urbano, afirma que a umidade é outro elemento que apresenta alterações significativas nas áreas impermeabilizadas. A impermeabilização do solo, através da pavimentação, juntamente com o aumento da área edificada promove a redução da capacidade do solo em liberar para o ambiente vapor d'água, com a evapotranspiração, consequentemente, reduzindo a umidade relativa do ar.

Acrescido a isso, tem o fato de o asfaltamento não permitir a infiltração da água das chuvas no solo, e assim tender a favorecer as inundações. Desse modo, Cruz (2003) defende que as vias urbanas de menor intensidade de trânsito ou tráfegabilidade de veículos podem ser construídas de paralelepípedo. Acioli (2005) reforça essas informações com a justificativa de que, a implementação de pavimento drenante possibilita a infiltração da água da chuva reabastecendo o lençol freático, reduz o volume de água para as galerias pluviais, diminui a erosão nos fundos de vale e auxilia na redução das enchentes.

Almeida (2016) exemplifica a implementação de pavimento drenante em campus universitário, mencionando sobre um dos estacionamentos de Harvard em que foi removido o asfalto e substituído por uma pavimentação porosa reciclada que reduziu o escoamento de águas pluviais no local em mais de 37%. Nesse sentido, Romero et al. (2011) propõem a utilização do pavimento intertravado com blocos pré-moldados de concreto, para possibilitar a infiltração das águas pluviais no solo no campus da Universidade de Brasília.

Seguindo as recomendações das normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Silva (2019a) criou um banco de dados e realizou a avaliação dos pavimentos do campus da UFERSA Mossoró. Silva (2019a) realizou a avaliação das vias pelo método do IGG (Índice de Gravidade Global), determinado de forma amostral por meio da identificação de defeitos em estações com área e distanciamento entre elas prefixadas pela especificação do DNIT. Dresch (2013), infere que a escala de classificação da degradação do pavimento em função do IGG, pode não representar a situação real do estado da superfície, bem como os pesos atribuídos a cada tipo de defeito eventualmente podem estar inadequados em comparação com as faixas de classificação da degradação do pavimento. No entanto, os valores e conceitos para o IGG obtidos por Silva (2019a), encontraram-se dentro de uma faixa esperada, representando uma realidade existente na condição superficial do revestimento.

O Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica de São Paulo teve a oportunidade de conceber e projetar em 2004 o pavimento do sistema viário do novo campus da Universidade (LEITE, 2007). Sendo proposto a utilização de agregados reciclados de resíduo sólido da construção civil e cimento asfáltico com borracha moída de pneus inservíveis (asfalto-borracha). O dimensionamento do pavimento seguiu o método do DNER para pavimentos flexíveis (DNIT, 2006). De acordo com Fernandes (2019) os ganhos de resistência dos solos com adição de resíduos da construção civil em comparação ao solo natural são surpreendentes chegando a valores de 1375%, o que viabiliza a utilização desse agregado em incorporação para estabilização de camadas para pavimentação.

Nesse contexto, sendo as universidades espaços que transmitem conhecimentos e formam profissionais que irão atuar na sociedade, representam assim ambientes que devem buscar alternativas para ajudar a sociedade na transição para um estilo de vida mais sustentável, reconhecendo a relação entre sociedade e meio-ambiente.

2.2 Estudo e caracterização de tráfego

Os estudos de tráfego são realizados com o intuito de planejar vias para transportar pessoas e mercadorias de forma eficiente, econômica e segura (DNIT, 2006). Possuindo como objetivo a contagem e a classificação do fluxo de veículos da via.

Os veículos são agrupados com base em características semelhantes de operação: motocicletas, automóveis, ônibus e caminhões. E a quantidade de cada tipo de veículo que solicitam a via em estudo a cada intervalo de hora é registrada em formulário.

Com base no fluxo de veículos por dia é realizado o cálculo do parâmetro “N”. Esse parâmetro possui relação direta com o índice de suporte do subleito e com o fluxo de veículos. Ele é definido em função do número equivalente de operações do eixo padrão rodoviário de 8,2tf ao longo do período considerado de vida útil do pavimento (DNIT, 2006).

Para calcular o número N é considerado o volume anual de veículos que solicitam a via (V_o). Sendo calculado, com base na contagem dos veículos realizada pelos pesquisadores, através da Equação 1. Em que, V_{md} é o volume médio diário de tráfego da via.

$$V_o = 365.V_{md} \quad (1)$$

Ainda é necessário realizar o cálculo de dois fatores. O Fator de Eixo (FE) que é calculado pelo produto da porcentagem de veículos determinado e seu respectivo eixo, conforme Equação 2.

$$FE = \%Veic\ 2eixos \cdot 2 + \%Veic\ 3eixos \cdot 3 + \%Veic\ neixos \cdot n \quad (2)$$

E o Fator de Carga (FC), que é o coeficiente que fornece a carga equivalente de 8,2tf, determinado a partir do método da AASHTO (*American Association Standard Highway and Transportation Officials*), definido pela Equação 3.

$$FC = \frac{P}{7,77}^{4,32} \quad (3)$$

Em que, P é o peso bruto total sobre o eixo.

Dessa forma, o parâmetro “N” é encontrado a partir da Equação 4.

$$N = FC \times FE \times V_0 \quad (4)$$

Onde, FC é o fator de carga, FE o fator de eixo e V_0 o volume de tráfego médio do ano.

2.3 Dimensionamento de pavimento

O pavimento é uma estrutura constituída de diversas camadas de diversos materiais em um espaço semi-infinito, cujo principal objetivo é resistir as ações contínuas aplicadas ao mesmo, além de ações externas causadas pelo meio ambiente (DNIT, 2006). O diretor-executivo da CNT, Bruno Batista (2017), explica que um dos fatores que mais impactam o comportamento dos materiais do pavimento é o clima, principalmente as variações de temperatura e umidade, e as normas brasileiras não consideram as diferenças climáticas de uma região para outra, considerando um fator climático único.

Segundo Bernucci et al., (2010), as estruturas de pavimentos são camadas construídas sobre uma fundação chamada de subleito, um maciço de terra. E de acordo com o (DNIT, 2006) as camadas do pavimento, representadas na Figura 1 são divididas em:

- Reforço de subleito, camada granular que tem o objetivo de melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito e de reduzir espessura da sub-base;
- Sub-base, camada corretiva do subleito e complementar à base, com as mesmas funções desta, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base;
- Base, camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento;

- Revestimento, camada mais acima do pavimento, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais dos veículos, e destinada a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança.

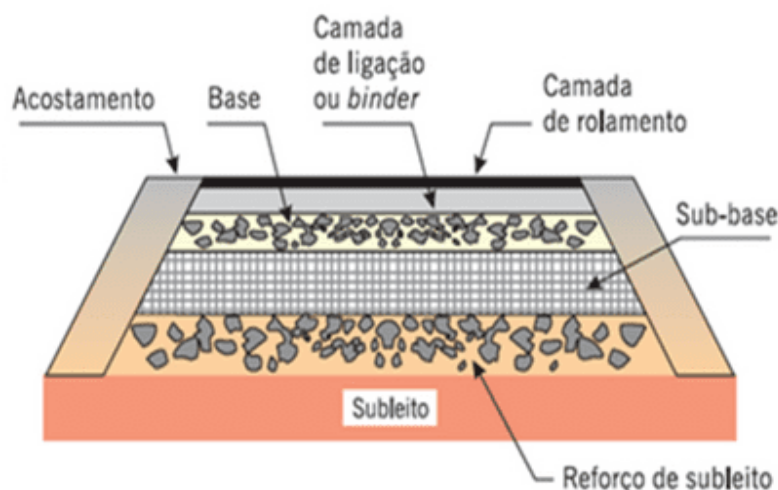


Figura 1 - Estrutura do pavimento flexível. Fonte: Bernucci et al. (2010).

O comportamento estrutural de um pavimento rodoviário depende das espessuras, da interação e da rigidez das camadas que o constituem aliado também à rigidez do subleito. A associação de camadas de diferentes materiais resulta no comportamento diferenciado da estrutura destes pavimentos. Devido à essa resposta da estrutura às cargas solicitantes, os pavimentos podem ser classificados em três grupos principais: flexíveis, semi-rígidos e rígidos. A escolha de cada um destes tipos de pavimentos dependerá da intensidade do tráfego, da qualidade de resistência do solo de fundação, assim como, da qualidade dos materiais disponíveis (DNIT, 2006).

Sob o aspecto estrutural, as principais diferenças entre os pavimentos flexíveis e os rígidos, residem na constituição da seção transversal e na forma como as tensões são distribuídas nas camadas subjacentes ao revestimento. Segundo Bernucci et al. (2010), os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é constituído por placas de concreto de cimento Portland, enquanto os pavimentos flexíveis são aqueles compostos por uma camada superficial asfáltica. Bianchi (2008) explica que o pavimento flexível funciona como uma camada de rolamento, e

quem absorve os esforços devido ao tráfego é a fundação, já no pavimento rígido a camada de rolamento também funciona como estrutura, redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à fundação. Tanto o pavimento rígido quanto o flexível devem atender determinadas exigências no tocante a segurança, ao conforto e a economia para implantação, operação e manutenção (CUNHA, 2013).

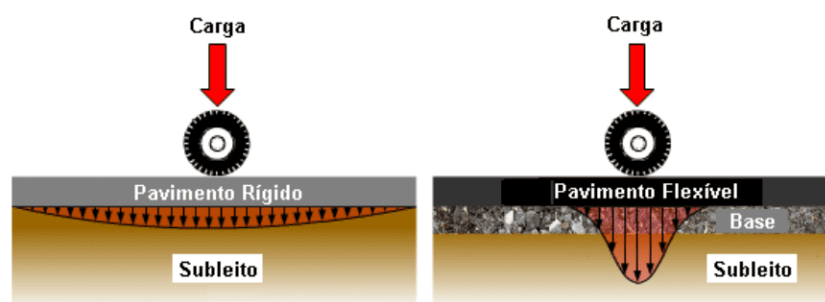


Figura 2 - Resposta mecânica dos pavimentos rígido e flexível.

Fonte: Araújo (2016).

Nesse sentido, os materiais e espessuras das camadas constituintes do pavimento são projetados para resistir as várias ações provenientes do tráfego de veículos, carregamento e do clima dentro de um período de projeto (MARQUES, 2014).

As ações do tráfego de veículos podem ser expressas através de uma pressão vertical e uma ação tangencial aplicada entre pneu e pavimento. As ações do clima, por sua vez, são resultantes dos efeitos provocados pela variação de temperatura e da presença de água que influenciam no desempenho dos materiais utilizados, como por exemplo, as misturas asfálticas (FONTES, 2010). Dessa forma, conforme pesquisa da CNT (2017), para um pavimento ser considerado bem dimensionado é necessário que suporte os efeitos das mudanças de clima, resista ao fluxo de carros, possibilite o escoamento da água na sua superfície, além de ter que possuir sistemas de drenagem eficiente para dar vazão à água da chuva e ter boa resistência a derrapagens.

Dimensionar um pavimento é, portanto, determinar as espessuras das camadas que irão constituir a estrutura do pavimento a partir da escolha de

materiais apropriados para cada uma das camadas e de critérios de ruptura estabelecidas nos modelos de análise (FRITZEN, 2016).

Atualmente o método de dimensionamento de pavimentos utilizado no Brasil, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, é baseado em normas da década de 1960. Assim, para Almeida (2015) por ser antigo e baseado em formulações empíricas, em que os ensaios realizados no laboratório não representam o que acontece no campo, o método utilizado não está mais adequado às condições atuais de tráfego do país. De acordo com o estudo da CNT (2017), a metodologia brasileira para o dimensionamento do pavimento apresenta uma defasagem média de 40 anos em relação a países como Estados Unidos, Japão e Portugal.

Desse modo, com a necessidade de atualização do método de dimensionamento, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) vem considerando procedimentos para a mudança do método vigente para o Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos – MeDiNa. Para aplicação desse método foi desenvolvido um *software* baseado no modelo mecanístico-empírico, com o objetivo de aumentar a confiabilidade nos projetos dos pavimentos e reduzir os custos de manutenção, através de correlações e da rotina de análise elástica de múltiplas camadas (AEMC) são definidos os melhores materiais empregados e as respectivas espessuras das camadas para calcular as tensões e deformações. Venescau (2021) explica que o novo método considera tensões e deslocamentos de toda a estrutura do pavimento e avalia os danos causados pelas cargas do tráfego em todas as suas camadas constituintes, enquanto o método atual realiza uma análise estática da aplicação das cargas, considerando apenas a deformação do subleito.

Visto que as tensões provocadas na estrutura do pavimento ocasionam a degradação dos seus materiais, o dimensionamento realizado terá uma vida útil. Ademais, o fato de a estrutura ser constituída por camadas que distribuem as cargas garante o desempenho adequado da via durante esse período. Portanto, como resultado de um mal dimensionamento, tem-se a perda das características básicas do pavimento (ALMEIDA, 2015).

2.3.1 Dimensionamento método tradicional DNER (1981)

O método tradicional empírico do DNER de dimensionamento de pavimentos elaborado pelo Eng. Murillo Lopes de Souza foi desenvolvido a partir da adaptação do método de dimensionamento americano, tendo como base o trabalho intitulado *Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*, de autoria da USACE e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO (DNIT, 2006).

A metodologia do DNER baseia-se na capacidade de suporte do subleito, classificação dos materiais granulares empregados no pavimento, análise do tráfego, coeficiente estrutural e espessura mínima de revestimento.

Para que não ocorra a ruptura precoce no pavimento, a escolha dos materiais deve respeitar os valores mínimos de algumas observações feitas por Souza (1981), especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos materiais do pavimento.

Camada	Critérios
Material de subleito	CBR $\geq$ 2% Expansão menor que 2%
Material para reforço do subleito	CBR maior que o do subleito Expansão menor que 1%
Material para sub-base	CBR $\geq$ 20% Expansão menor que 1%
Material para base	CBR $\geq$ 80% Expansão menor que 0,5%

Obs: Para um número de repetições do eixo-padrão $N \leq 10^6$, podem ser empregados materiais com CBR ≥ 60 .

Fonte: Souza (1981).

Com o número de repetições por eixo padrão (N), e o CBR das camadas, o dimensionamento das camadas é realizado através do ábaco do DNER, apresentado na Figura 3.

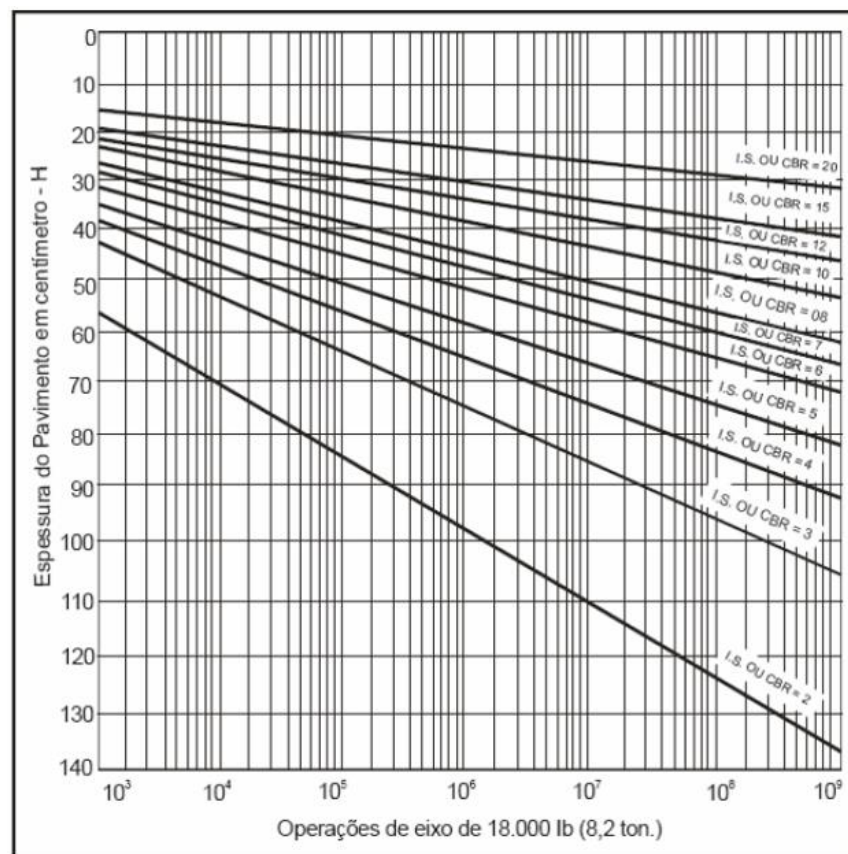


Figura 3 - Ábaco espessura do pavimento dado pelo valor de N e o CBR.

Fonte: Souza (1981).

Através do Índice de Suporte, ou CBR, do Subleito e o número de repetições do eixo padrão (N), determina-se a espessura total do pavimento (Hm). Com o mesmo processo, utiliza-se o CBR do reforço do subleito e assim, determina a espessura resultante da soma das camadas de base, sub-base e revestimento (Hn). Por último, com o CBR da sub-base é definido a espessura resultante da soma da base e do revestimento (H20). A Figura 4 ilustra o esquema de camadas de um pavimento.

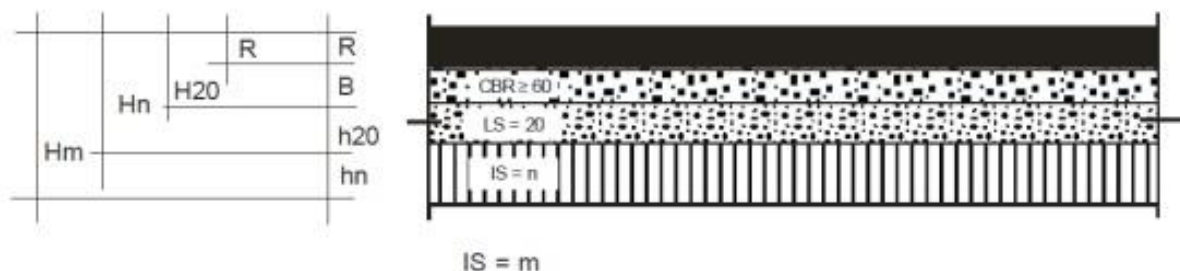


Figura 4 - Esquema de camadas do pavimento. Fonte: DNIT (2006).

O cálculo da espessura das camadas é realizado através das inequações da Equação (5). Sendo que, para camadas granulares é exigido pelo DNIT a espessura mínima de 10cm.

$$\begin{aligned} R \cdot K_r + B \cdot K_b &\geq H_{20} \\ R \cdot K_r + B \cdot K_b + h_{20} \cdot K_s &\geq H_n \\ R \cdot K_r + B \cdot K_b + h_{20} \cdot K_s + h_n \cdot K_n &\geq H_m \end{aligned} \quad (5)$$

Onde:

- K_r , K_b , K_s e K_n são os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais do pavimento;
- R , B , h_{20} e h_n são os valores das espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito respectivamente;
- H_{20} , H_n e H_m são os valores das espessuras das camadas equivalentes.

Os coeficientes de equivalência estruturais (K) são empregados de acordo com a Tabela 2, variando com base no tipo de material a ser utilizado.

Tabela 2 - Coeficiente de equivalência estrutural DNIT.

Tipo de material	Coeficiente de Equivalência Estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0
Base ou revestimento pré-misturado a quente de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio com graduação densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo-cimento com resistência aos 7 dias superior a 4,5 Mpa (compressão)	1,7
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,8 a 4,5 Mpa (compressão)	1,4
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,1 a 2,8 Mpa (compressão)	1,2
Bases de solo-cal	1,2

Fonte: DNIT (2006).

A seleção do tipo e espessura do revestimento parte de valores mínimos de acordo com faixas de valor de repetições de carga (N) a serem aplicadas no pavimento, mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipo de revestimento em relação aos valores de N e espessuras mínimas.

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

Fonte: Souza (1981).

2.3.2 Dimensionamento método MeDiNa

Sendo uma atualização do método do DNER, o novo método de dimensionamento nacional de pavimentos, que homenageia o professor Jacques de Medina, foi desenvolvido através da parceria entre o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE) e o Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES).

No software Medina, o cálculo ou definição do valor do número N é realizado a partir da entrada da contagem do tráfego ou da modificação dos valores do volume médio diário - VMD, da porcentagem de veículos na faixa de projeto e da taxa de crescimento anual.

Para cada tipo de veículo, seleciona-se o tipo de eixo utilizado. Além disso, deve-se modificar no programa o valor do Fator de Eixo (% de veículos desse tipo na rodovia no 1º Ano). O próprio software preencherá automaticamente o valor da carga, Fator de Carga (FC) e Fator de Veículo (FV) para todos os eixos de todos os veículos que fazem parte da contagem.

Posteriormente, preenche-se o valor da VMD (volume médio diário), a % Veículos na faixa de projeto, a Taxa de crescimento e o Período de projeto. Após o preenchimento, o valor do N Total é calculado automaticamente pelo software.

Define-se a estrutura do pavimento, escolhendo o tipo de material que será simulado em cada camada, sendo possível inserir as características mecânicas de cada material de acordo com os ensaios já realizados em laboratório. Com base nos materiais utilizados é realizado o dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento.

Após o cálculo dos deslocamentos, das tensões e das deformações, o programa irá verificar se o número de aplicações das solicitações irá gerar trincamentos excessivos da camada de revestimento asfáltico do pavimento ou afundamento na trilha de roda acima do limite pré-estabelecido (KNABBEN e CARPIO, 2019). Os graus de confiabilidade, área de trincamento e a deformação permanente são definidos por meio dos tipos de vias, resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios e confiabilidade de acordo com o tipo de via

Tipo de via	Confiabilidade	Área trincada	Def. permanente
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Local	65%	30%	20mm

Fonte: Franco e Motta (2020).

2.4 Viabilidade técnica e econômica do pavimento

No Brasil há uma acentuada inclinação à adoção de revestimentos asfálticos em detrimento de outras técnicas, como demonstram os dados da *Central Intelligence Agency* (CIA), nos quais mais de 98% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. Balbo (2009) afirma que essa preferência justifica-se, além da questão dos custos, pela ampla gama de apoio técnico e normativo dada à pavimentação asfáltica pelas agências oficiais, dentre outros fatores.

A distribuição das cargas na estrutura dos pavimentos varia de acordo com o material utilizado para o revestimento. Segundo Bernucci et al. (2010), o pavimento flexível é uma estrutura formada por agregados e ligantes asfálticos, em que as cargas verticais neste tipo de pavimento se distribuem de forma pontual e concentrada, sendo por esse motivo indispensável uma maior quantidade de camadas até a fundação (subleito). Essa estrutura “flete” devido ao carregamento que provoca uma série de deformações elásticas significativas que se distribuem sobre as demais camadas, comprometendo a durabilidade e o desempenho da rodovia (BALBO, 2012). No entanto, o pavimento rígido exige menos de sua camada de fundação, já que há uma degradação das cargas absorvidas em uma maior área, de modo que a tensão máxima vertical é bem menor quando atinge a fundação (DNIT, 2006). Sendo necessário ressaltar, que a espessura das placas de concreto varia em função das cargas aplicadas, da resistência à tração, fadiga, resistência das camadas inferiores e os efeitos de reação, principalmente da sub-base (MARQUES, 2006).

Os pavimentos flexíveis são projetados para uma vida útil de apenas 10 anos com manutenções, se consideradas todas as especificações durante a execução e o uso, isto é, sejam respeitados os esforços considerados em projeto (MELLO et. al., 2016). Depois desse prazo, são necessários reparos maiores, pois as deformações podem provocar rompimentos no assoalho, tornando esse tipo de pavimento mais suscetível às degradações, comprometendo a sua durabilidade.

Por outro lado, segundo Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2012) o pavimento rígido possui uma maior vida útil (superior a 20 anos) e uma menor necessidade de reparos, uma vez que é composto por placas de Concreto de Cimento Portland – CCP, que podem ser armadas ou não com barras de aço. Esse tipo de assoalho adquire uma durabilidade melhor, uma vez que o revestimento é a camada que detém de uma elevada rigidez, consequentemente absorve a maior parte das tensões geradas pelos carregamentos sem causar deformações excessivas (DNIT, 2006).

Dentre os fatores avaliados durante a escolha do sistema de pavimentação adotado, (BRITO, 2017) destaca os efeitos da temperatura como de fundamental

importância, por estarem diretamente ligados a durabilidade das camadas. Pomerantz et al. (2000) observou que pavimentos submetidos a menores temperaturas são capazes de resistir 10 vezes mais, quando comparados a pavimentos expostos a temperaturas mais quentes. Assim, PETROBRAS (2015) destaca que o gradiente de temperatura incidente sob o pavimento flexível ainda pode ser responsável por um envelhecimento acelerado da estrutura, devido o ciclo em que se registra aumento da viscosidade e posterior enrijecimento da estrutura, colaborando com a formação de fissuras. Já no que trata dos pavimentos rígidos, a variação de temperatura e umidade estão entre os fatores responsáveis pela perda de vida útil da estrutura, devido às deformações, de procedência análoga aos pavimentos flexíveis, que afetam o contato da placa de concreto e a sub-base, que acabam fraturando (BRITO, 2017).

O pavimento de concreto é indicado para vias que recebem um grande fluxo de automóveis e de transportes de cargas ou para regiões com temperaturas altas, já que ambos os casos causam dilatações mais recorrentes na malha asfáltica. Por esse motivo, o uso de concreto na pavimentação vem se expandindo, principalmente depois do aumento de 60% dos ligantes asfálticos nos últimos anos, enquanto o preço para a produção das placas de CCP se manteve estável (LANDIM, 2020).

Quanto ao custo de implementação e manutenção de pavimentos, existem diferenças expressivas entre os tipos. De acordo com a CNT (2017), o custo de implantação do pavimento rígido chega a ser aproximadamente 30% mais caro que o do pavimento flexível. Isso se deve ao fato de o assoalho de concreto requerer uma maior qualidade dos materiais e uma metodologia mais complexa do que o flexível (DNIT, 2006). Contudo, Silva Filho (2011) ressalta que, mesmo com um custo inicial elevado, a pavimentação rígida carece de menores investimentos quanto à manutenção e reparo ao longo de sua vida útil, fazendo com que, a longo prazo, o pavimento de concreto torne-se mais viável economicamente que a pavimentação de concreto asfáltico. Assim, em virtude de seu custo-benefício, durabilidade e desempenho, o pavimento rígido é largamente utilizado no meio internacional. Entretanto, no Brasil, ainda existem limitações acerca de investimentos na infraestrutura que compreendam estudos de ordem técnica e

metodológica sobre a implantação de um tipo de pavimento mais adequado e vantajoso (LANDIM, 2020). Logo, a escolha da melhor técnica de pavimentação depende diretamente de vários fatores como demanda, orçamento, região do país, relevo, uso das pistas, necessitando de uma análise pelos profissionais responsáveis, a fim de optar pelo tipo de pavimento mais indicado.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição área da pesquisa

Com base nas definições de pesquisa bibliográfica propostas por Gil (2002), o presente trabalho apresenta-se com natureza de pesquisa aplicada. Sendo o objeto de estudo o Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que se localiza em Ouro Preto-MG, contando com 29 cursos de graduação, 28 cursos de mestrado acadêmicos e profissionais e 14 cursos de doutorado acadêmicos.

3.2 Estudo e caracterização do tráfego

A contagem e classificação do fluxo de veículos do Campus Morro do Cruzeiro foi realizada através da pesquisa de contagem volumétrica, efetuada por Rodrigues (2018).

Com base no fluxo de veículos, e utilizando instruções do Manual de Estudo do Tráfego do DNIT (2006) foi possível realizar o cálculo do parâmetro “N”.

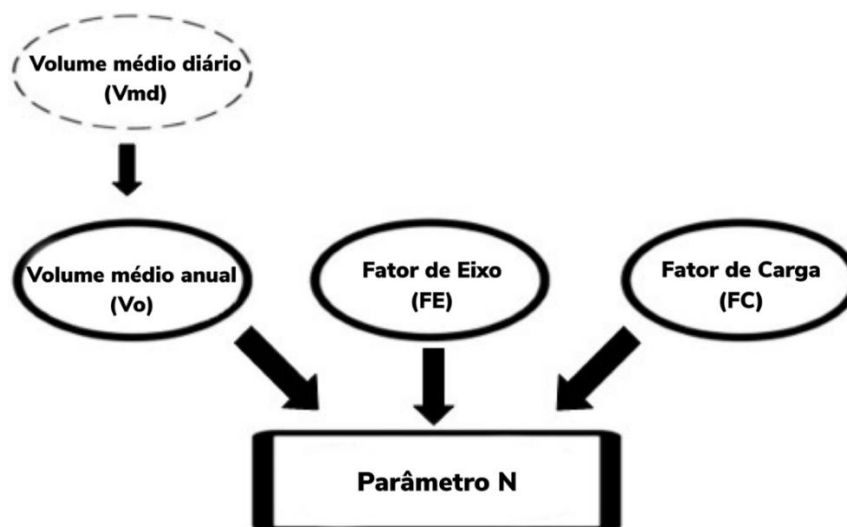


Figura 5 - Fluxograma parâmetro N.

3.3 Dimensionamento método tradicional DNER (1981)

Usando os resultados da investigação laboratorial da estrutura do atual pavimento do Campus Morro do Cruzeiro realizada por Faria et al. (2019) e o

número de repetições por eixo padrão (N) calculado, o dimensionamento das camadas foi realizado através do ábaco do DNER (1981).

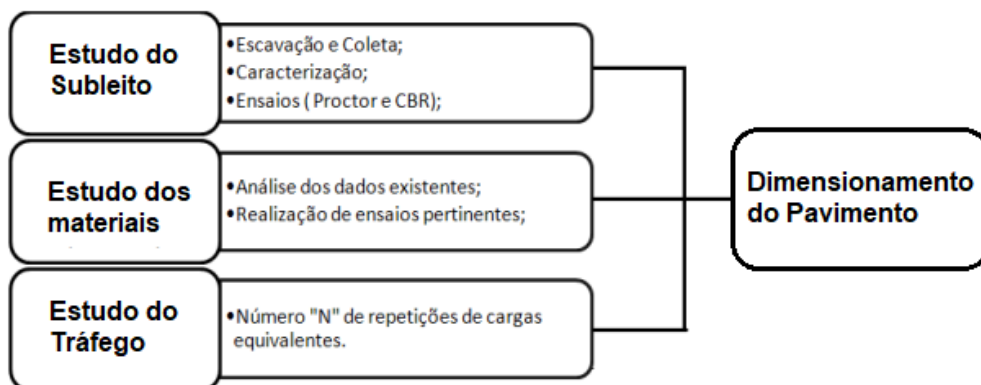


Figura 6 – Fluxograma com etapas para o dimensionamento do pavimento - método DNER

3.4 Dimensionamento método MeDiNa

Entrou-se no software Medina com a contagem do tráfego, porcentagem de veículos na faixa de projeto e taxa de crescimento anual, assim o número N foi calculado automaticamente.

Escolheu-se o tipo de material de cada camada com suas respectivas características mecânicas, definindo assim o dimensionamento do pavimento. Com isso, o programa analisou a capacidade dos materiais escolhidos para a estrutura de resistir aos esforços impostos a ela, obedecendo os limites pré-estabelecidos por Franco e Motta (2020) de área de trincamento e deformação permanente.

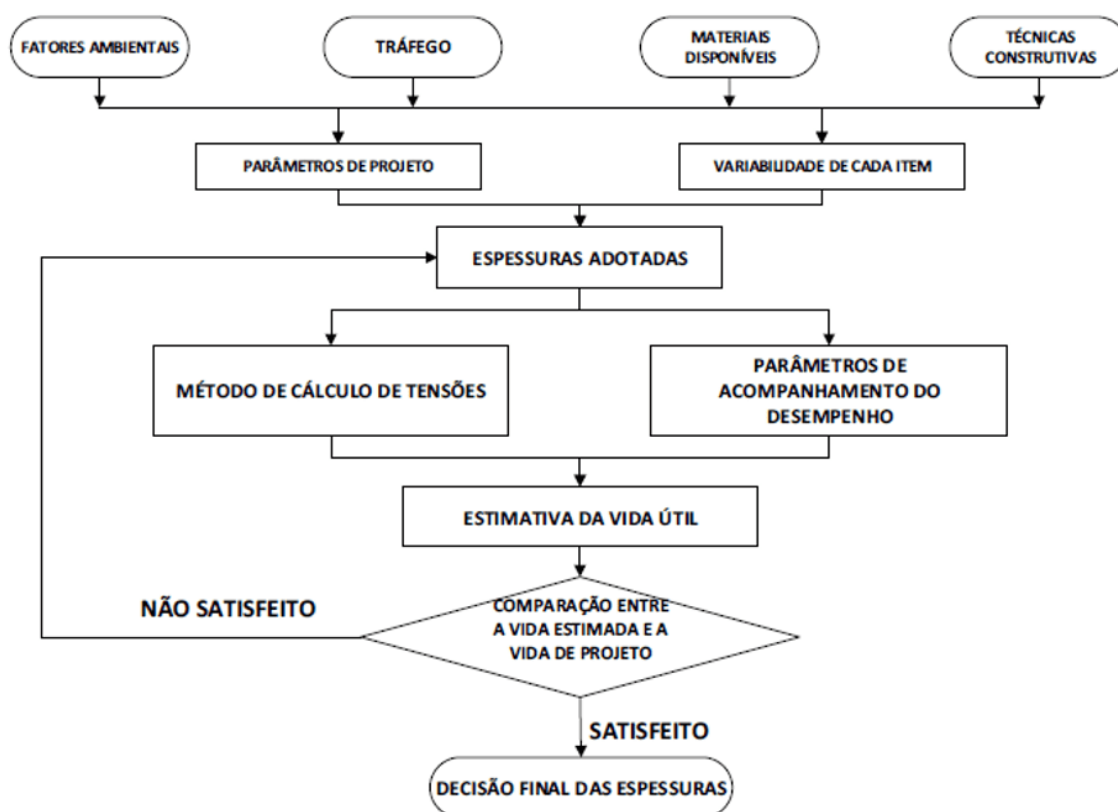


Figura 7 – Fluxograma de dimensionamento de pavimentos método MeDiNa.

Fonte: Motta e Medina (2005).

3.5 Verificação da viabilidade de uma nova pavimentação

A partir do conhecimento das camadas do revestimento feito, é possível realizar um dimensionamento do pavimento que atenda as características de tráfego verificadas, com boa durabilidade e conforto aos usuários.

Com isso, é analisada tecnicamente a possibilidade de implementação dessa pavimentação dimensionada, ao invés de apenas ser realizado a regularização da atual.

4 RESULTADOS

4.1 Número de repetições por eixo padrão (N)

Através da contagem volumétrica realizada por Rodrigues (2018), utilizando a média de veículos computados nos cinco dias de pesquisa, encontrou-se a média do fluxo de cada classe em cada portaria do Campus, e assim obteve-se a média dos tipos de veículos das portarias, apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Média do volume de cada classe de veículos nas duas portarias.

	Portaria Ginásio	Portaria Principal	Média portarias
Tipo	Volume	Volume	Volume
Motos	245	696	471
Carros	2394	4645	3520
Caminhonetes	85	153	119
Ônibus 2C	3	717	360
Ônibus 3C	0	5	3
Caminhão 2C	6	28	17
Caminhão 3C	0	3	2
Caminhão 4C	0	4	2
Total	2733	6251	4494

Fonte: Rodrigues (2018).

Multiplicando o tráfego médio diário (V_{md}) por 365 obteve-se o volume médio anual (V_o) na via.

$$V_o = 365 \cdot V_{md} = 365 \cdot 4494 = 1.640.310 \text{ veículos}$$

Somou-se o produto das porcentagens de cada classe de veículo pelo seu respectivo eixo, e obteve-se o Fator de Eixo (FE), mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Fator de Eixo (FE).

Tipo	Volume	% tráfego total	Eixos	% tráfego x Eixos
Motos	471	10,48%	2	0,209612817
Carros	3520	78,33%	2	1,566533155
Caminhonetes	119	2,65%	2	0,052959502
Ônibus 2C	360	8,01%	2	0,160213618
Ônibus 3C	3	0,07%	3	0,00200267
Caminhão 2C	17	0,38%	2	0,007565643
Caminhão 3C	2	0,04%	3	0,001335113
Caminhão 4C	2	0,04%	4	0,001780151
Total	4494	100%	FE=	2,00200267

O Fator de Carga (FC), que fornece a carga equivalente de 8,2tf, encontrado foi:

$$FC = \frac{P^{4,32}}{7,77} = \frac{6^{4,32}}{7,77} = 0,327337$$

Como no local transitava apenas veículos de eixos simples de rodas simples foi utilizado P= 6tf.

Dessa forma, obteve-se o parâmetro “N”:

$$N = FC \times FE \times V_o = 0,327337 \times 2,00200267 \times 1.640.310 = 1.074.943,61$$

$$N = 1,07 \times 10^6$$

4.2 Dimensionamento para o pavimento do Campus Morro do Cruzeiro (UFOP) - método tradicional DNER (1981)

Faria et al. (2019) realizou uma investigação laboratorial da estrutura do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro, e utilizando a norma de Ensaio DNIT 172/2016-ME encontrou os resultados mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados CBR/ISC.

Solo	CBR
Base (canga laterítica)	60%
Reforço de subleito (solo areno-argiloso)	17,60%
Subleito (areia-siltosa)	2%

Fonte: Faria et al. (2019).

Com o número de repetições do eixo padrão (N) e o CBR para o subleito, o dimensionamento ocorreu através do ábaco do DNER, mostrado anteriormente através da Figura 3. Assim, com $N = 1,07 \times 10^6$, os valores das espessuras das camadas equivalentes são $H_m = 97\text{cm}$, $H_n \cong 27\text{cm}$, $H_{20} \cong 20\text{cm}$.

Os coeficientes de equivalência estruturais (K) foram empregados de acordo com a Tabela 2 mostrada anteriormente, sendo os materiais das camadas de base, sub-base e reforço do subleito materiais granulares, então $K=1,0$. E de acordo com a Tabela 3, com o valor de N o revestimento usado, portanto, será do tipo revestimento betuminoso com 5cm de espessura, logo $K_r = 2$.

Assim, foi realizado o cálculo da espessura das camadas, sendo K_r , K_b , K_s e K_n os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais do pavimento; R, B, h_{20} e h_n os valores das espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito respectivamente; H_{20} , H_n e H_m os valores das espessuras das camadas equivalentes então:

$$R.K_r + B.K_b \geq H_{20}$$

$$5.2 + B.1,0 \geq 20$$

$$B \geq 10$$

Portanto, adotou-se o valor de 15 cm para a base.

$$R.K_r + B.K_b + h_{20}.K_s \geq H_n$$

$$5.2 + 15.1,0 + h_{20}.1,0 \geq 27$$

$$h_{20} \geq 2$$

Porém, a espessura mínima para camadas granulares é de 10 cm (MARQUES,2006), assim adotou-se o valor de 10 cm para a sub-base.

$$R.K_r + B.K_b + h_{20}.K_s + h_n.K_n \geq H_m$$

$$5.2 + 15.1,0 + 10.1,0 + h_n.1,0 \geq 97$$

$$h_n \geq 62$$

Assim, a espessura do subleito é 67 cm. O dimensionamento do pavimento realizado através do método do DNER é mostrado na Figura 8.

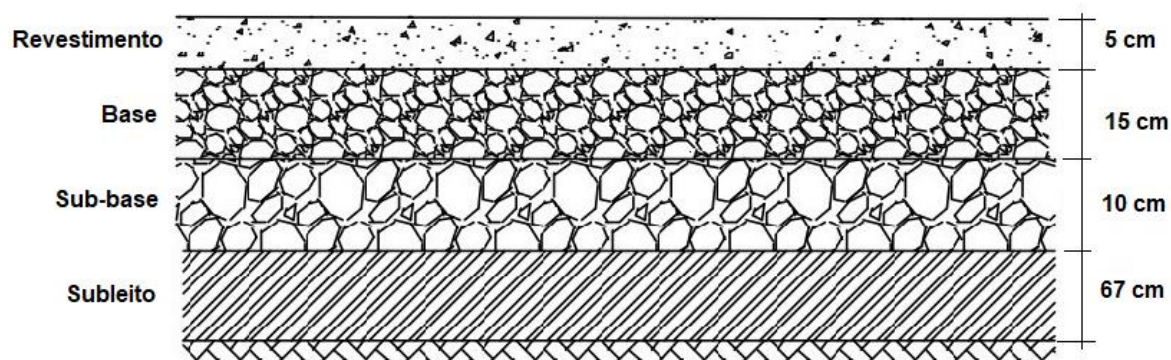


Figura 8 - Resultado do dimensionamento método DNER

4.3 Dimensionamento para o pavimento do Campus Morro do Cruzeiro (UFOP) - método MeDiNa

Os dados da contagem de tráfego do Campus realizada por Rodrigues (2018), seguem apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Contagem de tráfego em %

Tipo	Volume	% tráfego total
Motos	471	10,48%
Carros	3520	78,33%
Caminhonetes	119	2,65%
Ônibus 2C	360	8,01%
Ônibus 3C	3	0,07%
Caminhão 2C	17	0,38%
Caminhão 3C	2	0,04%
Caminhão 4C	2	0,04%
Total	4494	100%

Fonte: Rodrigues (2018).

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: Grasielle Martins EMPRESA: UFOP

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

Alterar Estrutura >>

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

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	4494
FV:	0.791
N anual (1º ano):	1.30e+06
% Veículos na faixa de projeto:	50
N Anual da faixa:	6.49e+05
Taxa de crescimento (%):	10.0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	1.03e+07

DADOS DO TRÁFEGO

Projeto novo NÍVEL <A>

Figura 10 - Dados do tráfego.

Definiu-se a estrutura do pavimento, adotando quatro camadas, sendo elas: subleito, sub-base, base e revestimento. O tipo de material que foi simulado em cada camada foi escolhido do banco de dados do próprio software. A aplicação dos materiais das camadas e seus respectivos parâmetros são mostrados nas Figuras 11, 12, 13 e 14.

Figura 11 - Propriedades do Subleito.

Figura 12 - Propriedades da Camada 3 (Sub-base).

Propriedades da Camada 2

BASE DE DADOS	
Projeto	
Brita Graduada - Gnaiss C1	
Brita Graduada - Gnaiss C2	
Brita Graduada - Gnaiss C3	
Brita Graduada - Gnaiss C4	
Brita Graduada - Gnaiss C5	
Brita Graduada - Gnaiss C6	
Brita Graduada - Gnaiss C7	
Solo Brita - M3 (LG' s: 1521)	
Solo Brita - M4 (NG' s: 1494)	
Solo Brita - M5 (LG' s: 1521)	

MATERIAL GRANULAR	
Material	Solo Brita - M4 (NG' s: 1494)
Parâmetros	
Espessura (cm)	20,0
Coefficiente de Poisson	0,35
Contato	Não Aderido
Módulo (MPa)	
Modelo Constituinte	Resiliente Linear
Módulo (MPa)	433
Características	
Descrição do Material	Solo NG' + 30% brita 1 e 40% brita 0
Massa específica (g/cm³)	2,065
Umidade Ótima (%)	6,9
Energia Compactação	Intermediária
Abrasão Los Angeles (%)	40,0
Norma ou Especificação	DNIT ES 141
Deformação Permanente	
Modelo:	$ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$
Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1):	0,24
Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2):	-0,34
Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3):	1,37
Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4):	0,04

Os parâ

Figura 13 - Propriedades da Camada 2 (Base).

Propriedades da Camada 1

BASE DE DADOS	
Projeto	
Classe 1	
Classe 2	
Classe 3	
Classe 4	
RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba	
RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	
RJ CAP 30/45 #19,1mm Sepetiba	
RJ CAP 50/70 #19,1mm Sepetiba	
Mistura Asfáltica	

CONCRETO ASFÁLTICO	
Material	Classe 4
Parâmetros	
Espessura (cm)	10,0
Coefficiente de Poisson	0,30
Contato	Não Aderido
Módulo (MPa)	
Modelo Constituinte	Resiliente Linear
Módulo (MPa)	10492
Características	
Tipo de CAP	...
Massa específica (g/cm³)	2,4
Norma ou Especificação	DNIT ES 31
Comentários	Este material deve ser obtido em laboratório ...
Curva de Fadiga	
Modelo:	$k1 . (et^{k2})$
Coefficiente de Regressão (k1):	1,91e-5
Coefficiente de Regressão (k2):	-1,9
Classe de Fadiga:	4
FFM (100µ a 250µ):	1,00

Figura 14 - Propriedades do revestimento.

Com base nos materiais utilizados foi feita uma análise de avaliação estrutural por meio do MeDiNa, de acordo com os critérios do Tipo de Via mostrados anteriormente na Tabela 4, sendo realizado o dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento. O programa verificou, mostrado na Figura 15, se o número de aplicações das solicitações irá gerar trincamentos excessivos da camada de

revestimento asfáltico do pavimento ou afundamento na trilha de roda acima do limite pré-estabelecido.

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: Grasielle Martins EMPRESA: UFOP

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

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 4	10,0	10492	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Solo Brita - M4 (NG's:1494)	20,0	433	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)	20,0	248	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via: Sistema Arterial Primário

VMD (1º ano): 4494

FV: 0,791

N anual (1º ano): 1,30e+06

% Veículos na faixa de projeto: 50

N Anual da faixa: 6,49e+05

Taxa de crescimento (%): 10,0

Período de projeto (anos): 10

N Total: 1,03e+07

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---

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

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 26,3%

Afundamento de Trilha de Roda: 6,4mm

Figura 15 - Avaliação estrutural.

. A análise de avaliação estrutural para o Número N Total calculado de $1,03 \times 10^7$ indicou a porcentagem de área trincada estimada do pavimento no fim do período de projeto (10 anos) de 26,3%, e o afundamento de trilha de roda de 6,4 milímetros. Os resultados atenderam os critérios do tipo de via Sistema Arterial Primário, nos quais a área trincada estimada ao fim do período de projeto deve estar abaixo do limite de 30% e o afundamento máximo de trilha de roda, abaixo do limite de 13 milímetros. O dimensionamento do pavimento realizado através do MeDiNa é apresentado na Figura 16.

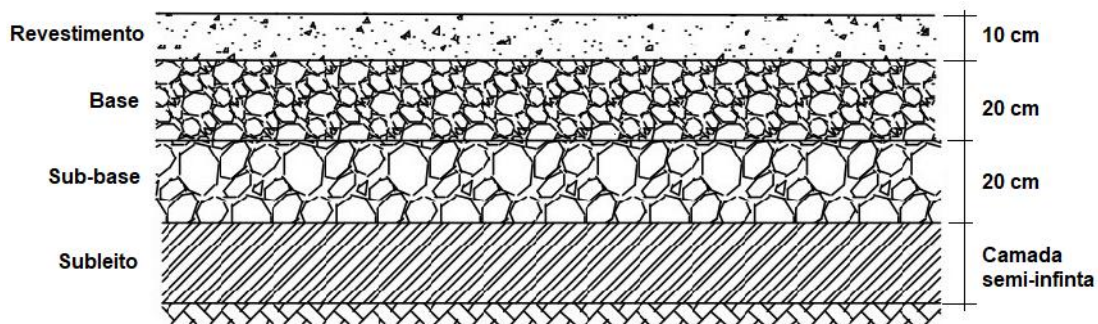


Figura 16 - Resultado dimensionamento método MeDiNa.

5 CONCLUSÃO

Por meio das análises realizadas, observa-se que, apesar de o pavimento asfáltico absorver maiores quantidades de radiação solar quando comparado com a superfície de concreto e não ser um pavimento drenante, devido ao intenso tráfego do Campus Morro do Cruzeiro, o asfalto é o revestimento mais indicado para o local. Por possuir maior fluidez para a circulação de automóveis e proporcionar maior conforto.

Comparando o método empírico utilizado atualmente pelo DNIT e o método de dimensionamento empírico-mecanístico, ficou claro que o método utilizando o software MeDiNa é mais criterioso, já que leva em consideração os fatores do clima, módulo de resiliência das camadas e a granulometria dos materiais. Conseguindo assim, prever as deformações e evoluções de trincas do pavimento projetado ao longo de sua vida útil.

A consideração do fluxo de tráfego na via interfere diretamente na estrutura do pavimento, a variação desse número leva a respostas estruturais distintas. Considerações inadequadas do tráfego resultam no subdimensionamento do pavimento, comprometendo o desempenho esperado e acelerando o processo de deterioração, ou superdimensionamento, sendo utilizado recursos a mais, aumentando sem necessidade o custo de construção do pavimento.

Em relação ao método tradicional do DNER, o parâmetro N encontrado para o fluxo do local foi de $1,07 \times 10^6$, assim deve-se utilizar um revestimento betuminoso com espessura de 5cm, uma base de 15 cm, uma sub-base de 7cm e o subleito de 70cm. Para o mesmo fluxo, o método MeDiNa calculou um valor de N igual a $1,03 \times 10^7$, um revestimento de 10cm, e uma base e sub-base com 20 cm de espessura, para o subleito a espessura é considerada 0 para que o *software* entenda que se trata de uma camada semi-infinita.

Assim, apesar de o método do DNER dimensionar o pavimento com uma camada mais estreita de revestimento (camada que tem o maior custo na estrutura), o que acarreta um menor investimento financeiro inicial, considerando a longo prazo o *software* MeDiNa apresenta melhor custo-benefício. Isto se deve ao fato de ser considerado dimensionamento da durabilidade da estrutura conforme a informação

de tempo de uso definida em projeto, gerando economia em relação à conservação da malha rodoviária.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para os trabalhos futuros, são sugeridas as investigações que seguem:

- Simular os pavimentos fazendo alterações nos materiais das camadas;
- Realizar estudo financeiro dos pavimentos dimensionados pelos dois métodos;
- Efetuar um levantamento da durabilidade de pavimentos dimensionados através do método do DNER; e
- Utilizar outros programas computacionais que considerem o desempenho do pavimento ao longo da sua vida útil através da análise de outras variáveis.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Pós-graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ALMEIDA, P. **Planejamento e gestão de um campus universitário sustentável: um desafio para a Cidade Universitária da UFRJ**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ALMEIDA, D. **Solução do projeto de pavimento rígido - Estudo de caso: corredor de ônibus do binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau**. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

ARAÚJO, M; SANTOS, M; PINHEIRO, H; *et al.* Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)**, v. 10, n. 11, p. 187–196, 2016.

ASAEDA, T; CA, Vu Thanh; WAKE, Akio. Atmospheric environment. **Heat storage of Pavement and its effect on the lower atmosphere**, v. 30, p. 413–427, 1996.

ABCP. **Pavimento de concreto é a melhor alternativa para rodovias**. 2012. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Disponível em: <<https://abcp.org.br/pavimento-de-concreto-e-alternativa-para-melhoria-das-rodovias/>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ABNT. **NBR 7202**: terminologia e classificação de pavimentação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1982.

ABNT. **NBR 6459**: Limite de liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. **NBR 15087**: Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

BIANCHI, F; BRITO, I; CASTRO, V. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, Serra, 2008.

BERNUCCI, L; MOTTA, L; CERATTI, J; *et al.* **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BORGES, M. **Influência do ambiente construído no microclima urbano - Estudo de caso no campus da Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação (Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

BRITO, L; HELLER, L. Revista de Engenharia Civil IMED. **Montagem e validação de um banco de dados climáticos para fins de avaliação do efeito da temperatura no desempenho de pavimentos flexíveis**, v. 4, n. 1, p. 3–18, 2017.

CATALÃO, V; LAYRARGUES, P; ZANETI, I. **Universidade para o século XXI: educação e gestão ambiental na Universidade de Brasília**. Brasília: Cidade Gráfica e Editora, 2011.

Confederação Nacional do Transporte - CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>>. Acesso em: 20 de abr. de 2021.

Confederação Nacional do Transporte - CNT. **Por que os pavimentos do Brasil não duram?**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>>. Acesso em: 12 de abr. de 2021.

CRUZ, J. **Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso de sistema não aderido de mantas asfálticas: Avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CUNHA, P. **Dimensionamento e análise numérica de pisos industriais de concreto**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Solos-Análise granulométrica por peneiramento**. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. Ministério dos Transportes. 3.ed. Rio de Janeiro, 1981.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de conservação de rodoviária**. Rio de Janeiro: IPR, 2005. 568p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/710_manual_de_conservacao_rodoviaria.pdf>. Acesso em: 12 de abr. de 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 278p. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual de Pavimentacao Versao Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)>. Acesso em: 12 de abr. de 2021.

DNIT-ME, 2013. **Norma DNIT – ME 164/2013**: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro.

DNIT-ME, 2016. **Norma DNIT – ME 172/2016**: Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro.

DNIT- ME, 2018. **Norma DNIT – ME 135/2018**: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro.

DRESCH, F. **Gerência de pavimentos urbanos: utilização de levantamento visual contínuo para avaliação das vias principais pavimentadas de Santa Rosa/RS**. Unijuí - Universidade Regional, Ijuí, 2013.

DUARTE, F; SÁNCHEZ, K; LIBARDI, R. **Introdução à Mobilidade Urbana**. 1. ed. Curitiba: Juruá Editora, 2007.

FARIA, V.; ALVES, H.; SILVA, M. G. *et al.* **Investigação das camadas do pavimento das vias do campus morro do cruzeiro da UFOP e definição de um pavimento ideal para o local**. 33º ANPET. Ouro Preto, 2019.

FERNANDES, M. **Estudo da adição de resíduos da construção civil (RCC) para estabilização granulométrica de um solo da região do vale do Araguaia, para fins de pavimentação**. Dissertação, Universidade Federal De Mato Grosso, Barra do Garças, 2019.

Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro – FETRANSPOR. **Guia da mobilidade sustentável – Uma cidade melhor para uma vida melhor**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.antp.org.br/5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/21/830AEB31-8259-45C9-AF38-AF48E4E6C6EF.pdf>>. Acesso em: 24 de mai. de 2021.

FILHO, J; ROCHA, E. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**, v. 02, n. 06, p. 146–163, 2018.

FONTES, L. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos**. Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Lisboa, 2010.

FRANCO, F.; MOTTA, L. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos: Manual para utilização do Método Mecanístico-Empírico MeDiNa: Apresentação dos programas**. Rio de Janeiro, 2020.

FRITZEN, M. A. **Desenvolvimento e Validação de Função de Transferência para Previsão do Dano por Fadiga em Pavimentos Asfálticos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

Godner, L. G., Beppler, F. e Prim, J. (2012) **Análise da Mobilidade em um Campus Universitário**. **Anais do 5º Congresso Luso Brasileiro para o**

Planejamento Urbano Regional Integrado Sustentável (PLURIS 2012). Universidade de Brasília, Brasília (Brasil), 03-05 outubro 2012.

KNABBEN, R.; CARPIO, J. **Como Usar o Software MeDiNa.** Ebook, s.a. Criciúma, 2019.

LANDIM, A; ABREU, A; SOUSA, A; *et al.* Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. **Análise comparativa de viabilidade técnica e econômica entre as pavimentações rígida e flexível**, v. 07, n. 06, p. 14–27, 2020.

LEITE, F. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LIMANOND, T; BUTSINGKORN, T; CHERMKHUNTHOD, C. **Travel behavior of university students who live on campus: A case study of a rural university in Asia.** Transport Policy, 2011.

MARQUES, G. **Análise de pavimento flexível: estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-42.** Dissertação, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

MARQUES, G. **Pavimentação: Notas de aula.** Faculdade de Engenharia da Universidade Federal De Juiz De Fora, Juiz de Fora, 2006. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em: 06 de nov. de 2021.

MEDINA, J. MOTTA, L. **Mecânica dos pavimentos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005, 570 p.

MELLO, L. G. R.; FARIAS, M. M.; PREUSSLER, E. S.; PREUSSLER, R. Análise do impacto do período de projeto de pavimentos no custo global de obras rodoviárias. **TRANSPORTES**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 64–74, 2016. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1056>>. Acesso em: 11 de out. de 2021.

MELO, L. **Estrutura de análise para licenciar projetos de polos geradores de viagens.** Tese de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MOLENAAR, A.; VAN NIEKERK, A. **Effects of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound materials**. Transportation Research Record, Washington, n.1787, p.73-82,2002.

NUNES, J.; JACQUES, M. A. **Caracterização dos padrões de viagens para instituições de ensino superior**. Anais do XIX ANPET-Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005. p.780.

POMERANTZ, M.; AKBARI, H.; HARVEY, J. T. **Durability and Visibility Benefits of Cooler Reflective Pavements**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Report. 2000.

PORTUGAL, L; GOLDNER, L. **Estudo de Pólos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes**. 1. ed. [s.l.]: Editora Edgard Blucher, 2003.

RODRIGUES, R. M. **Engenharia de pavimentos: parte II – gerência de pavimentos**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2007. 207f. Material de Curso.

RODRIGUES, S. J. A. **Estudo de Tráfego do campus Morro do Cruzeiro – UFOP**. Encontro de Saberes, 2018. Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP.

ROMERO, M.; SILVA, C.; TEIXEIRA, É. **Um campus para o novo milênio: estratégias de sustentabilidade urbana na Universidade de Brasília do Gama (Distrito Federal)**. Universidade para o século XXI: educação e gestão ambiental na Universidade de Brasília. Brasília: Cidade Gráfica e Editora, 2011. p. 167-178.

SÁ, E. **Mistura Asfáltica com Utilização de Agregados Alternativos**. Dissertação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SANTOS, C. **Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística**. Tese de doutorado, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA FILHO, A. **Estudo comparativo de viabilidade técnica e econômica entre pavimentos rígido e flexível aplicados a rodovia BR-408/PE**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Faculdade Vale do Ipojuca, Caruaru, 2011.

SILVA, C. **Análise comparativa da avaliação funcional dos pavimentos da Universidade Federal Rural do Semi-árido – campus Mossoró**. Dissertação, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2019a.

SILVA, L. **Avaliação Superficial de Pavimentos, usando o método IGG (Índice de Gravidade Global): Um estudo de caso, em um trecho na Av. Anhanguera, em Goiânia, Goiás**. Dissertação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019b.

SILVA, R. **Caracterização de Concreto Asfáltico Elaborado com Rejeitos de Minério de Ferro do Quadrilátero Ferrífero**. Tese de Doutorado pela Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

VENESCAU, R. Conheça o Método de Dimensionamento Nacional – MEDINA. Disponível em: <<http://engenhariarodoviaria.com.br/conheca-o-novo-metodo-de-dimensionamento-nacional-medina>>. Acesso em: 6 nov. 2021.