

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

MATHEUS LARANJEIRA MARINATO FAGUNDES

ANÁPOLIS / GO

2019

MATHEUS LARANJEIRA MARINATO FAGUNDES

PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES

ANÁPOLIS / GO: 2019

MATHEUS LARANJEIRA MARINATO FAGUNDES

PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

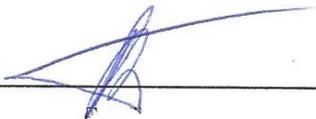
APROVADO POR:



RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, ESPECIALISTA
(UNIEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)



AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, MESTRE
(UNIEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)



LEANDRO DANI L ORFIRO, DOUTOR (UNIEVANGÉLICA) (EXAMINADOR
INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 31 de MAIO de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico em primeiro lugar a Deus que me deu saúde para chegar até aqui, a minha família que sempre me ajudou durante esta caminhada, que acreditaram na minha capacidade e me deu forças e condições para alcançar meus objetivos. Aos meus amigos que me incentivaram e me ajudaram nessa jornada sempre me dando apoio, e ao meu professor que me guiou nesse projeto.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me iluminar no meu caminho a alcançar esse sonho.

Agradeço também aos meus pais, Omar Rocha Fagundes e Vanessa Laranjeira Marinato Fagundes, por sempre acreditarem e me apoiarem, me ajudando nesta jornada em me tornar um engenheiro.

Aos meus amigos de faculdade por toda a ajuda que tive durante este período tão importante na minha vida

Aos meus amigos que me apoiaram, e me ajudaram a permanecer firme até o final desta jornada.

A todos que me ajudaram diretamente ou indiretamente.

Quero agradecer ao meu orientador Rodolfo Rodrigues de Sousa Borges por me guia neste projeto.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda.”

— Oliver Goldsmith

RESUMO

Devido à falta de profissionais qualificados na área de pavimentação, onde o mal dimensionamento do pavimento compromete a segurança e a velocidade de locomoção diária dos cidadãos devido a patologias na via, este trabalho visa apresentar a reconstrução da rua “Dona Sandita” no município de Anápolis – Goiás, em que foram realizados estudo anteriores e constado várias patologias nesse pavimento na qual a solução mais recomendada seria o recapeamento de toda a área afetada e a remoção de suas camadas inferiores, e execução de novo pavimento usando o método empírico do DNER de dimensionamento, tendo em vista que não foram realizados estudo prévios do solo da região, procurando achar a espessura de todas as demais camadas a serem utilizadas no processo de reconstrução do pavimento citado. Nesse estudo espera-se passar o conhecimento e informações para a reconstrução e dimensionamento de pavimentos do tipo flexível em que possam atender as Normas Técnicas Brasileiras, NBR

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento. Reconstrução de pavimento. Recapeamento.

ABSTRACT

Due to the lack of skilled professionals in the area of paving, where the bad design of the pavement compromises the safety and speed of daily locomotion of citizens due to pathologies in the road, this work aims to present the reconstruction of the street "Dona Sandita" in the municipality of Anápolis - Goiás, where previous studies were carried out and several pathologies were present in this pavement in which the most recommended solution would be the resurfacing of the entire affected area and the removal of its lower layers, and the execution of a new pavement using the DNER's empirical method of sizing, considering that no previous studies of the soil of the region were carried out, trying to find the thickness of all the other layers to be used in the process of reconstruction of the mentioned pavement. In this study it is expected to pass the knowledge and information for the reconstruction and dimensioning of flexible type pavements in which they can meet Brazilian Technical Standards, NBR

KEYWORDS: Pavement. Reconstruction of pavement. Recapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimento Rígido: Concreto-cimento.....	16
Figura 2 – Pavimento semirrígido com base de concreto e revestimento asfáltico.....	17
Figura 3 - Pavimento asfáltico (corte transversal)	18
Figura 4 - Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes.....	19
Figura 5 - Brita graduada simples.....	20
Figura 6 – Bica corrida.....	21
Figura 7 – Rachão	21
Figura 8 – Bica corrida.....	22
Figura 9 – Macadame seco.....	22
Figura 10 – Tipos de solo-agregado.....	23
Figura 11 – Solo-brita.....	24
Figura 12 – Solo arenoso fino laterítico.....	24
Figura 13 – Brita graduada tratada com cimento.....	25
Figura 14 – Solo-cimento.....	26
Figura 15 – Solo-cal.....	26
Figura 16 – Revestimento do tipo CBUQ no processo de compactação.....	27
Figura 17 – Pintura de ligação.....	29
Figura 18 – Máquina fresadora realizando a fresagem.....	30
Figura 19 – Localização rua Dona Sandita.....	31
Figura 20 - Fatores de equivalência de operação.....	33
Figura 21 - Dimensionamento do pavimento.....	37
Figura 22 - Determinação de espessuras do pavimento.....	37
Figura 23 – Valores encontrado no dimensionamento.....	39
Figura 24 – Croqui de dimensionamento do pavimento.....	40
Figura 25 – Valores encontrado no Ábaco	45
Figura 26 – Espessura de camadas achadas.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Determinação do fator de operações.....	33
Tabela 2 - Classificação dos materiais empregado no pavimento.....	34
Tabela 3 - Coeficiente de equivalência estrutural.....	35
Tabela 4 - Espessura mínima de revestimento betuminoso.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras
BGS	Brita graduada simples
BGTC	Brita graduada tratada com cimento
CA	Concreto asfáltico
CBR	California Bearing Ratio
CBUQ	Concreto betuminoso usinado quente
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EAI	Emulsão asfáltica para o serviço de imprimação)
ISC	Índice de Suporte Califórnia
N	Número equivalente de operações de um eixo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVO	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivo Específico	15
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 PAVIMENTO: DEFINIÇÃO E CONCEITO	16
2.1.1 Pavimento rígido	16
2.1.2 Pavimento semirrígidoz.....	17
2.1.2 Pavimento flexível ou pavimento asfáltico	17
2.2 CAMADAS	19
2.2.1 Materiais	19
2.2.1.1 Materiais granulares	20
2.2.1.2 Materiais solo e solo-agregado	22
2.2.1.3 Materiais cimentados	24
2.3 REVESTIMENTO	26
2.4 PATOLOGIAS	27
2.4.1 Desgaste.....	27
2.4.2 Trinca couro de jacaré	28
2.4.3 Trinca em bloco	28
2.4.4 Trinca longitudinal	28
2.4.5 Panela	28
2.4.6 Deformação permanente.....	28
2.5 SERVIÇOS.....	29
2.5.1 Pintura de ligação	29
2.5.2 Imprimação.....	29
2.5.3 Fresagem.....	29
4 ESTUDO DE CASO	31
4.1 LOCALIZAÇÃO.....	31
4.2 DIMENSIONAMENTO.....	31
4.2.1 Número N	32
4.2.2 Materiais	34

4.2.3 Espessura de pavimento.....	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Pavimento é o nome dado ao revestimento usado para cobrir uma superfície terraplanada. São estruturas complexas, que sustentam variadas cargas e estão sujeitas ao atrito constante e às intempéries (ANDRADE, 2005).

De acordo com pesquisa da Confederação Nacional do Transporte no ano de 2017, o transporte rodoviário no Brasil é a principal alternativa para tráfego de cargas e pessoas, contribuindo significativamente para o desenvolvimento nacional. Segundo o estudo, essas vias têm uma participação de mais de 61% na matriz de transporte de cargas e de 95% na de passageiros.

Ressalta-se, a importância desse modal para a sociedade brasileira, na qual percebe-se uma grande demanda de construções de pavimentos. Apesar disso, sua tecnologia de construção continua estagnada no Brasil, não havendo crescimento tecnológico proporcional ao crescimento da demanda.

No Brasil, a maioria dos pavimentos são flexíveis, compostos de concreto asfáltico (CA), também conhecido como concreto betuminoso usinado quente (CBUQ). Este, trata-se de uma mistura composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filler) e ligante betuminoso, espalhado e comprimido a quente.

O pavimento flexível geralmente tem presente camadas de base, de sub-base, de reforço de subleito e de regularização do subleito. Este estudo visa fazer uma revisão bibliográfica a respeito das etapas do processo de recapeamento de pavimento do tipo flexível e, com os conhecimentos acumulados, desenvolver o projeto de dimensionamento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Decidiu-se dar sequência ao trabalho do Frederico Lemos França e Táris Maday Jorge Fernandes no qual estes analisaram a rua Dona Sandita em Anápolis Goiás e constaram várias patologias nesta via, no qual a melhor solução encontrada pelos autores do trabalho foram a reconstrução do pavimento a partir de suas camadas inferiores.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Projetar um pavimento flexível com concreto betuminoso usinado a quente de alta qualidade.

1.2.2 Objetivo Específico

- Compreender o método do DNER de dimensionamento.
- Dimensionar um pavimento flexível para uma via de Anápolis.

1.3 METODOLOGIA

Foi utilizado para dimensionamento do pavimento flexível o método do DNER aonde se utiliza o número N no qual será abordado no dimensionamento e os materiais escolhidos para suas camadas, no qual estes baseiam-se no índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No segundo capítulo é feito a revisão bibliográfica onde são apresentados os conceitos de pavimento, definição do pavimento, tipos existentes, as camadas constituintes do pavimento e seu revestimento, tais como os materiais que poderão ser utilizados nas camadas e revestimento, os serviços executados nas obras e o método de dimensionamento. No terceiro capítulo é iniciado um projeto básico e depois o projeto executivo. No quarto será feito o estudo de caso do pavimento, onde irá ocorrer um estudo prévio do pavimento, e contagem da circulação de veículos que irá definir o dimensionamento. Em seguida serão apresentadas as referências para execução da monografia. E por último o apêndice que irá constar um projeto executivo do dimensionamento do pavimento.

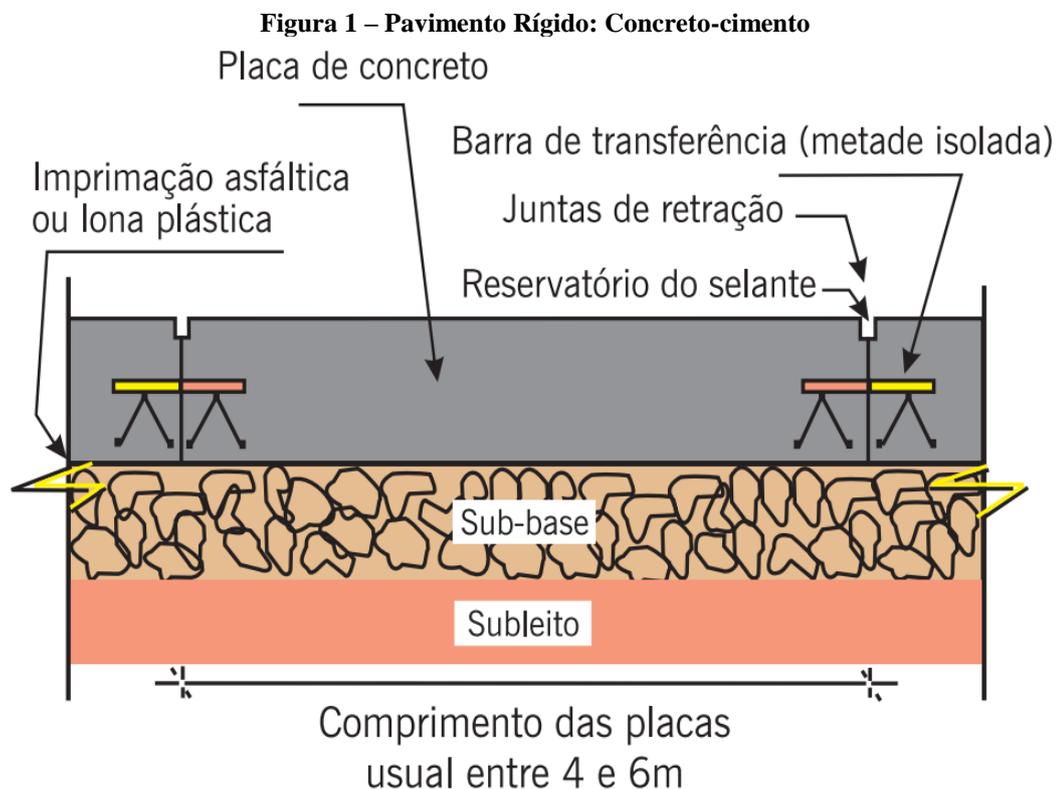
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTO: DEFINIÇÃO E CONCEITO

Pavimento é estrutura com múltiplas camadas em que tem a função de resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e que deve dar aos seus usuários conforto e segurança. O revestimento do pavimento é classificado em diversos tipos, sendo eles: Pavimento rígido, pavimento flexível e pavimento semirrígido. Para Balbo (2007) o pavimento tem a função de apresentar conforto na passagem do veículo com uma superfície regular, mais aderente e menos ruidosa.

2.1.1 Pavimento rígido

O pavimento rígido é aquele que seu revestimento possui alta rigidez em relação as outras camadas do pavimento, assim recebendo a maioria da tensão causada pelo trafego, é feito com cimento de Portland como no exemplo da Figura 1, podendo ou não apresentar camada de sub-base.

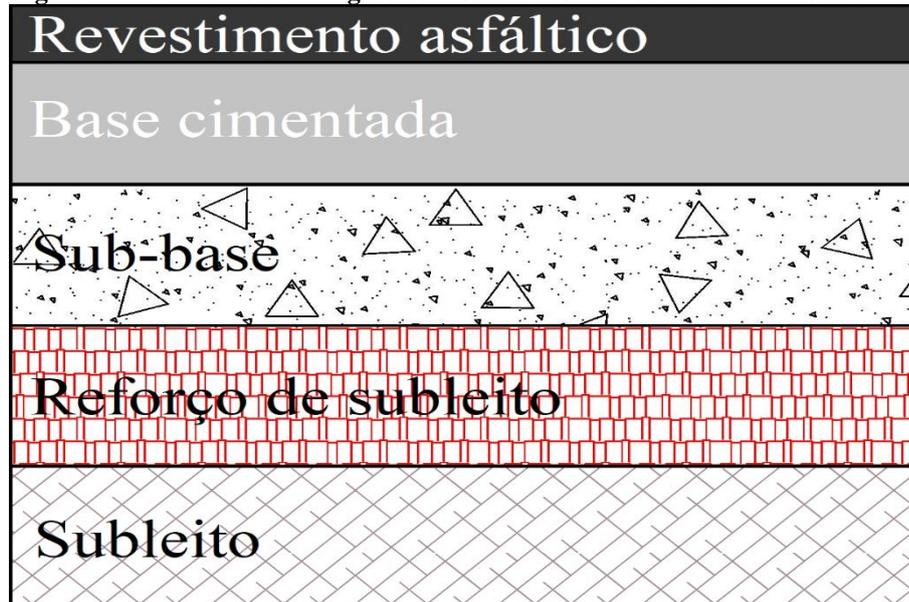


Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

2.1.2 Pavimento semirrígido

O pavimento semirrígido de acordo com o DNIT (2006) é caracterizado por uma base cimentada de algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, onde o revestimento seja asfáltico e sua base seja em concreto, exemplo Figura 2.

Figura 2 – Pavimento semirrígido com base de concreto e revestimento asfáltico



Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

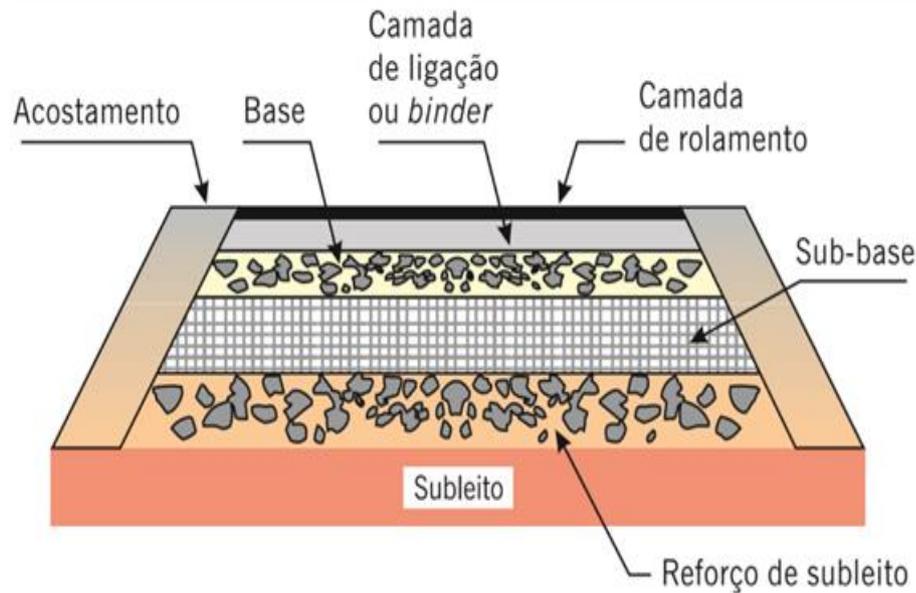
2.1.2 Pavimento flexível ou pavimento asfáltico

O Pavimento asfáltico tem o seu revestimento composto por uma mistura constituída de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas: Revestimento asfáltico, Base, Sub-base e Reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ter camada de rolamento, camadas intermediárias e camada de ligação. Dependendo do tráfego e dos materiais utilizado, pode-se ter a ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros – Figura 3.

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

(BERNUCCI, et al., 2008)

Figura 3 - Pavimento asfáltico (corte transversal)



Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

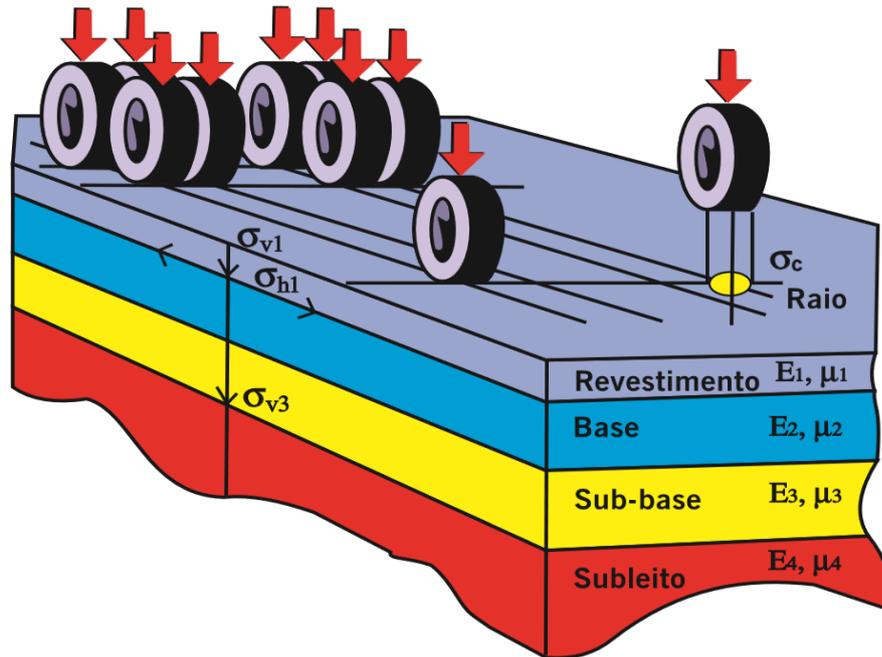
O revestimento asfáltico é a camada em contato direto com as rodas, destinada a resistir diretamente as ações do tráfego e transmiti-las as camadas inferiores, impermeabilizar e além de melhorar o rolamento (conforto e segurança). Os trincamentos destas camadas estão associados à fadiga dessa camada que se deve as tensões e deformações que são induzidas pela carga do tráfego. Alguns problemas relacionados à deformação e outros defeitos pode ser atribuída ao revestimento asfáltico. As camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural no pavimento asfáltico.

O pavimento deve ser dimensionado de acordo com a necessidade do tráfego da região, as camadas por sua vez devem ser capazes de suporta os esforços solicitantes e transferi-las as camadas subjacentes. A espessura da camada e sua rigidez afeta diretamente nas tensões e deformações na qual a estrutura estará sujeita. Se bem projetado e construída a estrutura do pavimento, as cargas gerarão descolamentos que não vão provocar ruptura ou deformações excessivas.

A parte estrutural do pavimento tem que ser projetada para resistirem a várias solicitações de carga, dentro do período que foi projetado para durar, não pode ocorrer danos estruturais fora do aceitável e previsto. Os danos principais considerados são a fadiga e a deformação permanente.

“Limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento Figura 4, por meio da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes, é o objetivo da mecânica dos pavimentos” (MEDINA, 1997)

Figura 4 - Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes



Fonte: ALBERNAZ, 1997

2.2 CAMADAS

- Subleito: camada na qual será o terreno de fundação para o pavimento.
- Regularização do subleito: camada onde consiste em corrigir falhas do subleito, não constitui propriamente uma camada do pavimento, sendo uma operação de correção do subleito.
 - Reforço do subleito: se usada no pavimento, trata-se de uma camada de espessura constante sobre o subleito.
 - Sub-base: camada que fica entre o subleito (ou reforço do subleito) e a base, o material deve ter boa capacidade de suporte, pois essa camada e para prevenir o bombeamento do solo do subleito (ou reforço do subleito) para a base.
 - Base: camada abaixo do revestimento asfáltico servindo de suporte estrutural, sua rigidez alivia tensões no revestimento e distribui-as nas camadas inferiores.

2.2.1 Materiais

As propriedades dos materiais das camadas podem variar conforme o tipo de pavimento, ou quantas camadas serão necessárias no pavimento. Para a seleção dos materiais

empregam-se métodos de seleção e caracterização de suas propriedades. A Seleção consiste em verificar os materiais disponíveis sabendo das suas características para serem usadas na estrutura do pavimento. Os materiais usados nas camadas são compactados, portanto esses devem apresentar ser resistentes, pouco deformáveis e com a permeabilidade compatível com a sua função. Para se medir essa resistência a compactação e a deformabilidade utiliza-se o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), e a norma que define a determinação do ensaio do CBR é a NORMA DNIT 172/2016 – ME. Para a seleção dos materiais e caracterização dos agregados serão adotados os materiais que são comumente utilizados para pavimentos flexíveis e que atende aos requisitos da norma reguladora. Os materiais são formados por agregados, solos, e eventualmente aditivos como cimento, cal, emulsão asfáltica, entre outros.

2.2.1.1 Materiais granulares

Os materiais granulares são constituídos de agregados graúdos e miúdos.

- Brita Graduada Simples (BGS): de acordo com BERNUCCI, et al (2008) o BGS é um dos materiais mais usado nas camadas de base e sub-base nos pavimentos asfálticos, foi introduzido na década de 1960. O material tem diâmetro máximo de 38 mm, e fino de 3 a 9% na peneira N^o 200, tendo uma distribuição granulométrica bem-graduada, o módulo de resiliência deste material é em média de 100 a 400 MPA (1000 a 4000 kgf/cm²), com índice de CBR maior que 60%. É dosado e homogeneizados na usina utilizando água e os agregado, atendendo as normas, é um material medianamente permeável. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 5.

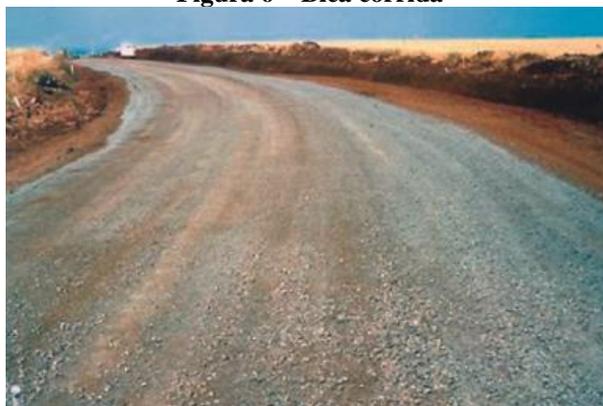
Figura 5 - Brita graduada simples



Fonte: <https://pedreiro.com.br/o-que-e-bgs-passo-a-passo/>

- Brita ou Bica corrida: de acordo com BERNUCCI, et al (2008) é um material com requisitos menos rigorosos e podendo ser umedecida em pista. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 6.

Figura 6 – Bica corrida



Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

- Rachão: de acordo com BERNUCCI, et al (2008) é usado em subleitos de baixa capacidade de suporte onde reduz as deformações permanentes e ajuda nas demais camadas por oferecer um suporte maior. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 – Rachão



Fonte: <https://www.rodeghel.com.br/rachao-bica-corrida-sorocaba>

- Macadame hidráulico: de acordo com BERNUCCI, et al (2008) o macadame hidráulico foi um material muito usado nas primeiras rodovias brasileiras. Trata-se de um agregado graúdos, naturais ou britados, onde seus vazios são preenchidos por agregados miúdos e aglutinados pela água. Os agregados graúdos não podem conter muitas partículas laminares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração. Dependendo do subleito deve-se usar uma camada de bloqueio para evitar que o material grave no solo. O macadame hidráulico tem-se uma permeabilidade maior que o do BGS. Os valores do módulo de resiliência não podem ser

medidos através de laboratórios para esses materiais constituintes de agregados graúdo. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 – Bica corrida



Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

- **Macadame seco:** de acordo com BERNUCCI, et al (2008) o macadame seco é bastante parecido com o hidráulico, porém não se utiliza água para o preenchimento dos vazios do agregado graúdo. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 9.

Figura 9 – Macadame seco



Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

2.2.1.2 Materiais solo e solo-agregado

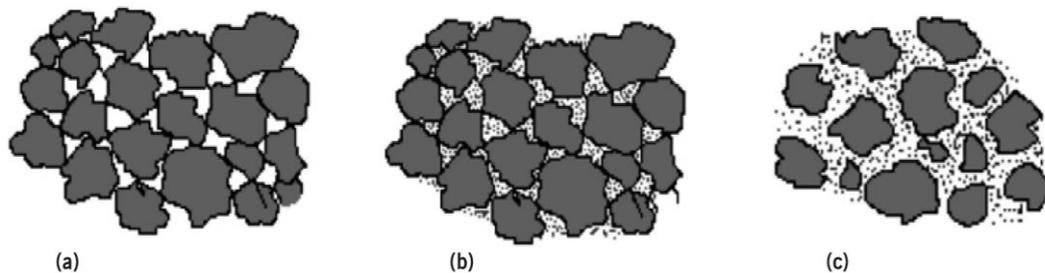
Esses materiais são misturas naturais ou preparadas de britas, pedregulhos ou areias que passa na peneira No 200. É possível dividir os tipos de solos-agregados em três tipos (Figura 10).

(a) Solo-agregado de contato grão-grão: possui baixa densidade, é permeável, não é suscetível a mudanças com a umidade ou congelamento e sua compactação é difícil.

(b) Solo-agregado finos preenchem os vazios: proporcionam alta densidade, sua permeabilidade é mais baixa que o (a) contato grão-grão, possui resistência elevada, maior que o solo-agregado (a), sua compactação é um pouco mais fácil que o tipo (a) e possui menor deformabilidade.

(c) Solo-agregado matriz de finos: possui a densidade menor que o tipo (b), sua permeabilidade também é inferior ao tipo (b), podendo até ser impermeável, dependendo de sua natureza, é afetado por mudança de umidade e é facilmente compactado.

Figura 10 – Tipos de solo-agregado



Fonte: BERNUCCI, et al., 2008

As misturas estabilizadoras devem seguir normas de granulometria (DNER-ES 301 e DNER-ES 303).

Modernamente tem-se evitado o uso do termo estabilizar, quando não há adição de estabilizantes do tipo da cal, do cimento etc. Há autores que preferem a designação mais rigorosas misturas estabilizadas mecanicamente, para diferenciar da adição de estabilizantes químicos. (BERNUCCI, et al., 2008)

De acordo com BERNUCCI, et al (2008) tem-se usados frequentemente misturas de solos-agregados tipo (b) finos preenchem os vazios e (c) matriz de finos, chamados de solo-brita ou solo-areia, e o tipo (c) de solo-brita descontínuo. Nesta mistura o importante, principalmente no caso do tipo (c) é o material fino, podendo utilizar o solo laterítico no solo tipo (c). Essas misturas por conter a maior parte da matriz do solo laterítico, são coesivas e pouco expansivas e com alta capacidade de suporte. Algumas misturas solos-brita (50% em peso de brita) dão CBR de ordem 80% na energia modificada. As misturas com 70% de peso britam e 30% solo apresentam o CBR maior que 100% e mostram pouca perda de capacidade de suporte ao contato com água. Os valores do módulo de resiliência são parecidos com o do BGS apresentando menores deformações. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 – Solo-brita



Fonte: BERNUCCI, et al.,2008

- Solo arenoso fino laterítico: de acordo com BERNUCCI, et al (2008) o SAFL é composto de argila e areia, encontrado naturalmente, ou formado artificialmente pegando areias dos campos e argila laterítica dos rios. Se usado como reforço do subleito ou sub-base pode ser empregado em pavimento com tráfego médio ou pesado. Geralmente sua granulometria é descontínua, sem ou com uma pequena porcentagem de silte. Tem um módulo resiliência de 100 a 500 MPA dependendo do solo laterítico usado, e podendo ser menos se usado um solo mais argiloso. A perda de umidade destes solos pode acabar resultando em trinca, levando a uma perda do módulo de resiliência efetivo, porém ainda tem baixa deformabilidade e um bom comportamento mecânico. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 12.

Figura 12 – Solo arenoso fino laterítico



Fonte: BERNUCCI, et al.,2008

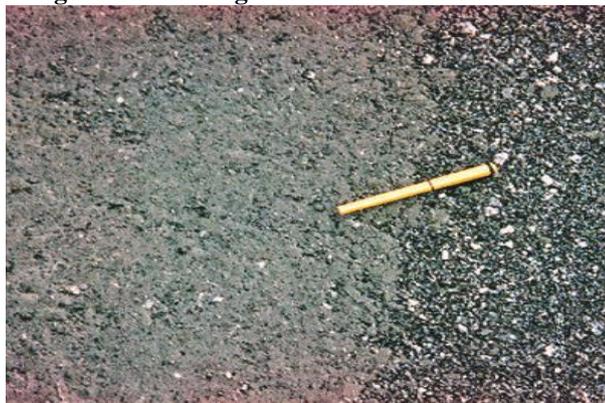
2.2.1.3 Materiais cimentados

Materiais granulares onde se tem a adição de cimento ou outros aditivos, sendo alguns deles:

- Brita graduada tratada com cimento (BGTC): de acordo com BERNUCCI, et al (2008) a BGTC tem sido usados frequentemente em pavimentos com tráfego médio e pesados,

ficou popular durante a década de 1970, geralmente usasse como base de pavimento de revestimento betuminoso. Na BGTC tem-se o mesmo material do BGS, porém com a adição de 3 a 5 por cento de peso em cimento, seu módulo de resiliência é de 3000 a 12000 MPa. Em alguns casos devido a cura do cimento, a BGTC pode apresentar a retração, com isso levando ao aparecimento de fissuras e trincas no revestimento asfáltico se usada como base, por este motivo tem usado a BGTC na sub-base para evitar reflexões e trincas no revestimento. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 – Brita graduada tratada com cimento



Fonte: BERNUCCI, et al.,2008

- Solo-cimento: de acordo com BERNUCCI, et al (2008) foi usado em grande escala durante a década de 1960, quando obras foram realizadas em regiões sem pedreiras, o solo-cimento tem-se uma porcentagem acima de 5 em peso de cimento, enquanto com 3 por cento de peso ou abaixo é considerado solo melhorado com cimento. Enquanto o solo-cimento tem o objetivo de ter um enrijecimento significativo do solo o solo melhorado com cimento, procura a melhora parcial de suas propriedades, tipo a trabalhabilidade conjugada e o aumento do suporte do mesmo. Deve ser feito preferencialmente em usina, mas podendo também ser misturado em pista. O solo-cimento usado em base tem-se mostrado bastante resistente e durável quando bem dosado e obedecendo os prazos de mistura, regularização e compactação, minimizando as trincas por retração, e que o subleito tenha uma alta capacidade de suporte, seu módulo de resiliência varia de 2000 a mais de 10000 MPa. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 14.

- Solo-cal: de acordo com BERNUCCI, et al (2008) segue o mesmo padrões do solo-cimento, quando se usando 5 por cento de peso em cal, procura-se atingir um enrijecimento maior, e se usado menos que 3 por cento de peso, procura-se uma melhoria de suas propriedades,

seu tempo de curar é muito maior que o solo-cimento que é de 14 dias e altamente influenciada pela temperatura, em geral se utiliza de 4 a 5 por cento de peso. Uma ilustração do material pode ser vista na Figura 15.

Figura 14 – Solo-cimento



Fonte: BERNUCCI, et al.,2008

Figura 15 – Solo-cal



Fonte: BERNUCCI, et al.,2008

2.3 REVESTIMENTO

O revestimento tem a função de receber diretamente as cargas dos veículos e as ações climáticas, tendo que ser impermeável e resistente aos esforços de contato dos variados tipos de veículos que estarão sujeitos a passar pavimento.

O revestimento adotado neste projeto será o concreto asfáltico (CA) conhecido como concreto betuminoso usinado quente (CBUQ), como o nome já diz, é uma mistura executada a quente em uma usina específica, onde tem características específicas e possui agregados graduado, filler (material de enchimento) se preciso e cimento asfáltico, é espalhada e compactada ainda quente, como na Figura 16.

Os materiais constituintes do concreto asfáltico são: agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (filler) e ligante asfáltico, os quais devem satisfazer às Normas pertinentes, e às Especificações aprovadas pelo DNIT. (NORMA DNIT 031, 2006)

De acordo com o DNIT, não é permitido a aplicação do concreto betuminoso usinado quente em dias chuvosos, e não pode ser fabricado, transportado e aplicado em dias que a temperatura seja inferior a 10 °C.

No Brasil a dosagem do revestimento asfáltico é feita principalmente pelo método Marshall, e em seguida o Superpave, o procedimento do método de Marshall está na norma do DNER-ME 43(95) e os dois métodos estão no livro PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA, Formação Básica para Engenheiros.

Figura 16 – Revestimento do tipo CBUQ no processo de compactação



Fonte: Próprio Autor, 2018

2.4 PATOLOGIAS

Será apresentado neste tópico as patologias achadas na rua Dona Sandita por Frederico Lemos França e Társis Maday Jorge Fernandes.

2.4.1 Desgaste

É a perda progressiva de agregado do pavimento, onde tem uma aspereza superficial, pode ser causado por problema executivo, falha no ligante, presença de água e sobreposição de vazios da camada de revestimento.

2.4.2 Trinca couro de jacaré

São trincas interligadas de formas irregulares sem direções, bastante comum nas vias brasileiras, a trinca se deve ao processo repetitivo do carregamento e descarregamento, dentro do limite elástico a um nível menor que o material poderia suportar levando o mesmo a fadiga e respectivamente as trincas, tem esse nome pois o aspecto das trincas se assemelha ao couro de jacaré.

2.4.3 Trinca em bloco

São conjuntos de trincas interligadas que se assemelham a blocos, tem os lados bem definidos e podem ou não ter acentuação da erosão nas bordas, podem aparecer até mesmo nos mais leve trafego, e surge com o endurecimento e contração térmica da camada de revestimento asfáltico ou com a utilização de solos tropicais sem tratamento.

2.4.4 Trinca longitudinal

São trincas predominantemente paralelas ao eixo do pavimento podendo ser dos tipos longos se maior que 1 metro e curtas se menor que 1 metro, pode ser causada pela má execução das juntas, assentamento da fundação, retração da camada de revestimento asfáltico e pode até significar o início da fadiga.

2.4.5 Panela

São cavidades mais conhecido como buracos, aonde suas dimensões e profundidades que podem variar, começar no revestimento e pode atingir as suas camadas inferiores, pode ser causada pela fadiga avançada do pavimento ou desgastes.

2.4.6 Deformação permanente

A deformação permanente ou também afundamento é caracterizada por uma depressão da superfície do pavimento, podendo ser causada pela ação repetitivas das rodas dos veículos afetando a influência plástica de uma ou mais camada do pavimento.

2.5 SERVIÇOS

2.5.1 Pintura de ligação

A pintura de ligação segundo o DNIT 145/201- ES, tem a função de melhorar a aderência entre o revestimento e a base ou revestimento aplicado anteriormente no pavimento, o ligante asfáltico empregado na pintura de ligação deve ser do tipo RR-1C em conformidade com a norma DNER-EM 369/97, um exemplo de pintura de ligação na Figura 17.



Fonte: Bernucci, Motta, Ceratti, Soares, 2008

2.5.2 Imprimação

A imprimação segundo o DNIT 144/2014-ES, tem a função de conferir coesão superficial, impermeabilidade e permitir condições de aderência entre a base e o revestimento a ser executado, o ligante asfáltico empregado na pintura de ligação deve ser do tipo CM-30 em conformidade com a norma DNER-EM 363/97 ou a emulsão asfáltica do tipo EAI (emulsão asfáltica para o serviço de imprimação) em conformidade com a norma DNIT 165/2013-EM.

2.5.3 Fresagem

A Fresagem segundo o DNIT 159/2011-ES, é a operação que realiza corte ou desbaste de uma ou mais camadas de um pavimento asfáltico existente por processo mecânico a frio, se utiliza a máquina fresadora, na mesma norma são descritos os processos de fresagem, um exemplo de fresagem na Figura 18.

Figura 18 – Máquina fresadora realizando a fresagem



Fonte: Pagina Group Wirtgen, 2019

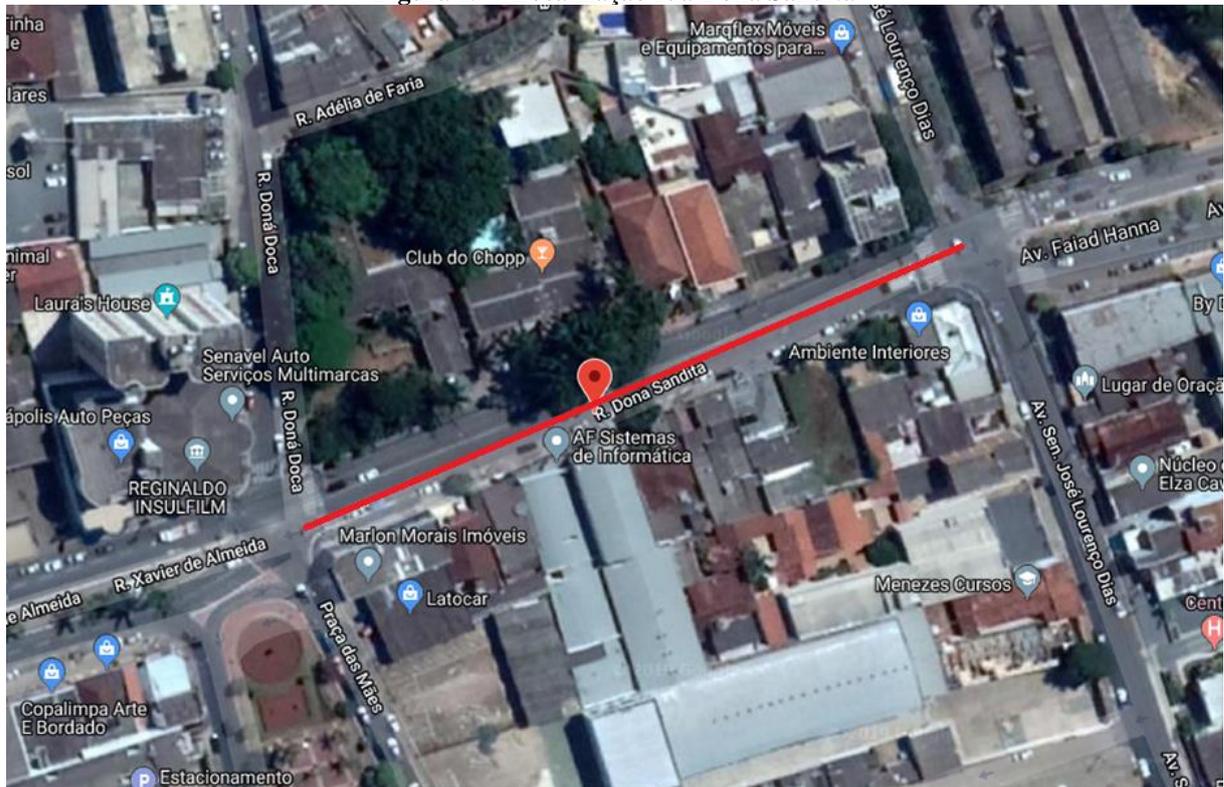
4 ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso foi escolhido a rua Dona Sandita onde já realizado estudos por alunos da faculdade UniEvangélica, foi constatada que a melhor solução para o trecho era a reconstrução do pavimento a partir de suas camadas inferiores.

4.1 LOCALIZAÇÃO

A rua Dona Sandita está localizada no setor central em Anápolis – GO, e tem aproximadamente 150 m de extensão, Figura 19.

Figura 19 – Localização rua Dona Sandita



Fonte: Google Maps, 2019

4.2 DIMENSIONAMENTO

O método de dimensionamento será o método do DNER, no qual é basicamente determinar as espessuras de suas camadas e revestimento, através de suas respectivas necessidades estruturais de acordo com o tráfego que transitará neste pavimento durante a sua vida útil no qual é convertido em um número de operações/solicitações de um eixo padrão,

conhecido como número N (número equivalente de operações de um eixo) e os materiais escolhidos para cada camada levando em conta seu CBR.

4.2.1 Número N

Para achar o número N (número equivalente de operações/solicitações de um eixo), utilizam-se as seguintes formulas:

- Achar o volume médio diário de trafego (equação 1):

$$V_m = \frac{V_1[2+(P-1)\frac{t}{100}]}{2} \quad (1)$$

Onde na equação 1 o V_m é o Volume médio diário de tráfego, V_1 é o volume médio diário de tráfego no ano de abertura, P é o período de anos e t é a taxa de crescimento anual.

- Volume total de trafego durante o período (equação 2):

$$V_t = 365 \times P \times V_m \quad (2)$$

Onde na equação 2 o V_t é o volume total de trafego, P é o período em anos e V_m é o volume médio diário de tráfego.

- Ao se admitir uma taxa de crescimento anual em progressão geométrica, o volume total do trafego durante o período é (equação 3):

$$V_t = \frac{365V_1[(1+\frac{t}{100})^P - 1]}{\frac{t}{100}} \quad (3)$$

Onde na equação 3 o V_t é o volume total de trafego, V_1 é o volume médio diário de tráfego no ano de abertura, t é a taxa de crescimento anual, P é o período de anos.

- Conhecendo o valor V_t , calcula-se N (equação 4):

$$N = V_t \times (F. E) \times (F. C) \quad (4)$$

$$F. V = (F. E) \times (F. C) \quad (5)$$

$$N = V_t \times (F. V) \quad (6)$$

Onde nas equações 4, 5 e 6: F.E é o fator de eixos, número que multiplicado pelo número de veículos dá o a número de eixos correspondentes, F.C é o fator de carga, número que multiplicado pela quantidade de eixos que operam, dá o número de eixos equivalente ao eixo padrão, F.V é o fator de veículo, número que multiplicado pela quantidade de veículos que transitam, dá a quantidade de eixos equivalentes ao eixo padrão.

- Para achar os resultados dos cálculos de F.E, F.C e F.V, faz-se necessário estudar o volume total do trafego, para amostragem. Na amostragem faz a conta total de eixos e seus pesos, verificar na Figura 20.

$$N = Vt * (F.E) \text{ onde } F.E = \frac{n}{Vt} \quad (7)$$

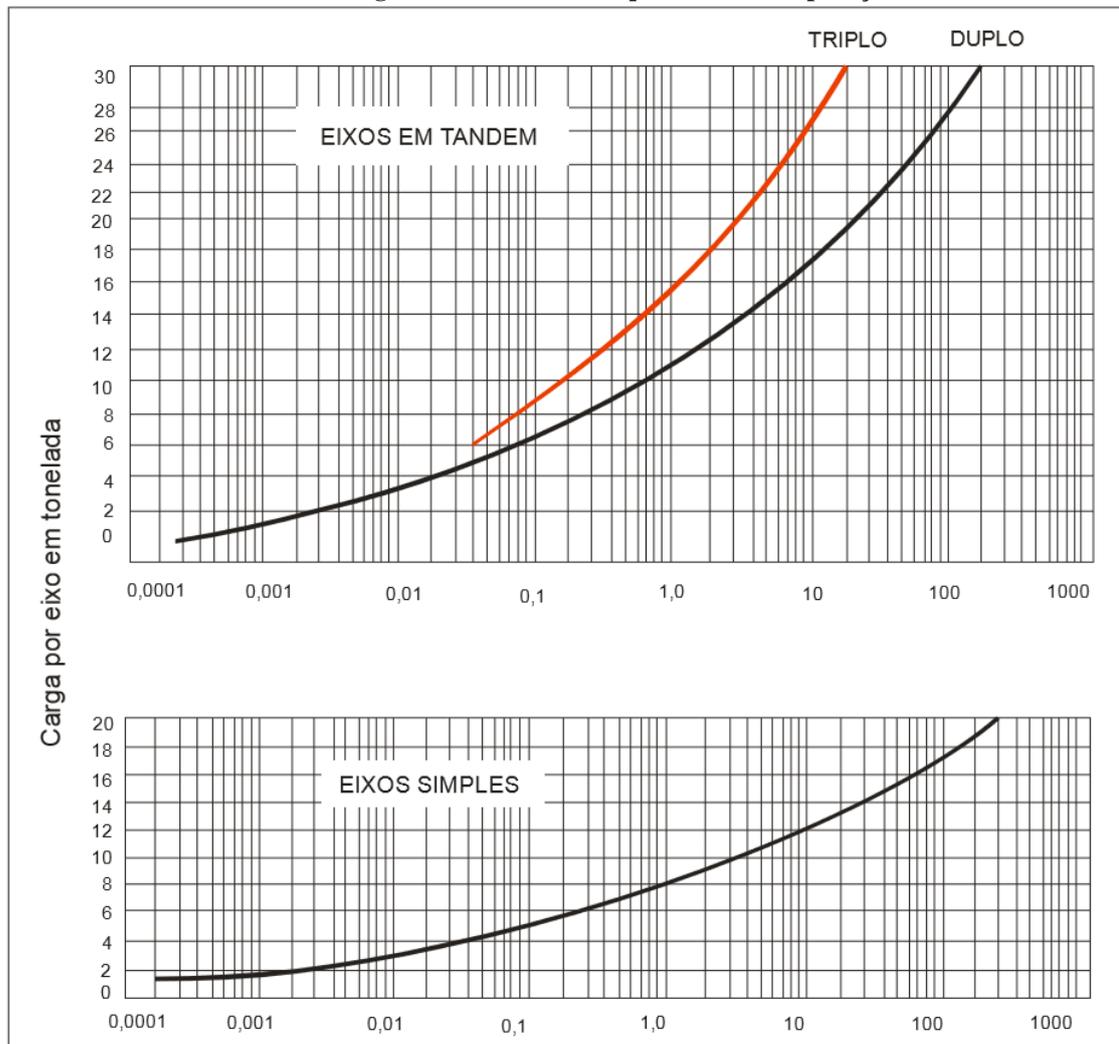
Com os dados de peso em mãos será preenchida uma tabela (Tabela 1) para determinar o valor de F.C.

Tabela 1 - Determinação do fator de operações

(1)	(2)	(3)	(4)
	percentagem	Fator de equivalência	Fator de operações
Eixos Simples (t)			
Eixos tandem (t)			

Fonte: DNIT, 2006

Figura 20 - Fatores de equivalência de operação



Fonte: DNIT, 2006

Os valores da coluna 2 são as porcentagens dos eixos da amostragem, a coluna 3 são obtidos através da Figura 20 e a coluna 4 é obtida através do produto da coluna 2 e 3. A coluna 4 representa o produto $100 * F.C$, ou seja, a equivalência = $100 * F.C$ (equação 8)

$$F. C = \frac{\text{Equivalência}}{100} \quad (8)$$

- Geralmente se calcula o N de acordo com as etapas:

a) Se calcula V_t com dados estatísticos da estrada, levando em conta a fixação de V_1 (onde leva em conta o tráfego gerado e desviado), tipo de crescimento e sua taxa. Podendo também ser feito de acordo com estudo econômico da região.

b) No cálculo do F.V, tem que calcular o F.V1 individual de cada categoria de veículo, determinadas numa estação de pesagem e porcentagem de P_i .

Referente ao valor de FR tem-se adotado um valor que é correspondente a uma unidade de equilíbrio correspondente de pesquisas desenvolvida pelo IPR/DNER. Assim, tem-se adotado $FR = 1,0$ em solução aos resultados das pesquisas.

Para o estudo de caso o número N foi obtido através da equipe de engenheiros civis profissionais da prefeitura municipal visto que possuem a contagem em trabalho, sendo o número N igual a 1×10^5 .

4.2.2 Materiais

Tendo o número N, vamos então escolher os materiais das suas camadas a partir da tabela 2, e o revestimento que depende diretamente do número N.

Tabela 2 – Classificação dos materiais empregado no pavimento

Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$.
Classificação dos materiais empregados no pavimento.
a) Materiais para reforço do subleito, os que apresentam C.B.R. maior que o do subleito
b) Materiais para sub-base, os que apresentam C.B.R. $\geq 20\%$,
c) Materiais para base, os que apresentam: C.B.R. $\geq 80\%$
Para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, podem ser empregados materiais com C.B.R. $\geq 60\%$ para base

Fonte: DNIT, 2006

Após escolher os materiais iremos achar o coeficiente de equivalência estrutural de cada camada, no qual os coeficientes das camadas são denominados, e são retirados da tabela 3:

- Revestimento: K_R
- Base: K_B
- Sub-base: K_S
- Reforço: K_{Ref}

Tabela 3 - Coeficiente de equivalência estrutural

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

Fonte: DNIT, 2006

Para a espessura mínima de revestimento, seja para proteger a camada base dos esforços imposto pelo tráfego ou para evitar rupturas do próprio revestimento, são recomendados pela Tabela 4.

Tabela 4 - 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: DNIT, 2006

Para o estudo de caso foram escolhidos os seguintes materiais e revestimento de acordo com as tabelas:

- Revestimento – de acordo com a tabela de espessura mínima do revestimento do DNIT, o pavimento é considerado de tráfego leve e seu revestimento seria tratamento superficial que tem a espessura de 15mm a 30mm, mas no município de Anápolis, apenas pode utilizar CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado à Quente), de acordo com a lei complementar N° 131 de 2006, art. 36 inciso I alterado pela lei complementar N° 269 de 2011, então será utilizado CBUQ no revestimento com espessura de 30mm, sendo material betuminoso seu coeficiente de equivalência é 2.
- Base - para o DNIT pavimento com número N menor que ou igual a 5×10^6 , podem ser empregados materiais com CBR maior ou igual a 60%, sendo assim escolhida a brita graduada simples, sendo material granular seu coeficiente de equivalência é 1.
- Sub-base – toda sub-base deve apresentar CBR maior ou igual a 20%, assim sendo adotado também a brita graduada simples, sendo material granular seu coeficiente de equivalência é 1.
- Reforço de subleito – o reforço de subleito sempre deve apresentar CBR maior que o do subleito, então para este adotamos solo melhorado com cal que possui CBR de 8%, sendo material granular seu coeficiente de equivalência é 1.
- Subleito – não possui ensaio prévio porem adotou-se CBR de 3% por ser uma situação desvantajosa, aonde se o CBR for menor ou igual a 2% recomenda-se a substituição deste material em pelo menos 1 metro.

Após escolher os matérias e retirados seus coeficientes da tabela do DNIT, ficando $K_B = 2$, $K_B = 1$, $K_S = 1$, $K_{Ref} = 1$, e $R = 3\text{cm}$.

4.2.3 Espessura de pavimento

O gráfico da Figura 22 dá a espessura total do pavimento em termos de material com $K = 1,00$, ou seja, em termos de base granular, de acordo com N e CBR As espessuras máximas e mínimas de camada granulares são respectivamente 20 cm e 10 cm.

Na Figura 21, podemos ver a simbologia usada no dimensionamento do pavimento: H_m = espessura total de um pavimento necessário para proteger um material com $\text{CBR} = m$; h_n = espessura da camada de modo geral com CBR ou $\text{IS} = n$.

Mesmo que o C.B.R ou I.S da sub-base seja maior que 20, a espessura do pavimento é determinada com esse valor no máximo 20, por isso utiliza-se H_{20} e h_{20} para referenciar-se a espessura de base e a espessura de sub-base, respectivamente. Os símbolos B e R significam, respectivamente, as espessuras de base e revestimento.

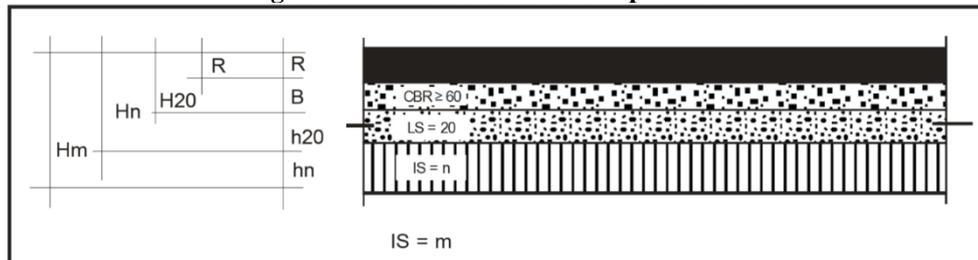
Quando determinado os valores de H_m , H_n , H_{20} , pela Figura 22, e R pela Tabela 4 apresentada, as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}), e reforço do subleito (h_n), serão obtidas pela resolução das inequações a seguir 9, 10 e 11:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (9)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S \geq H_n \quad (10)$$

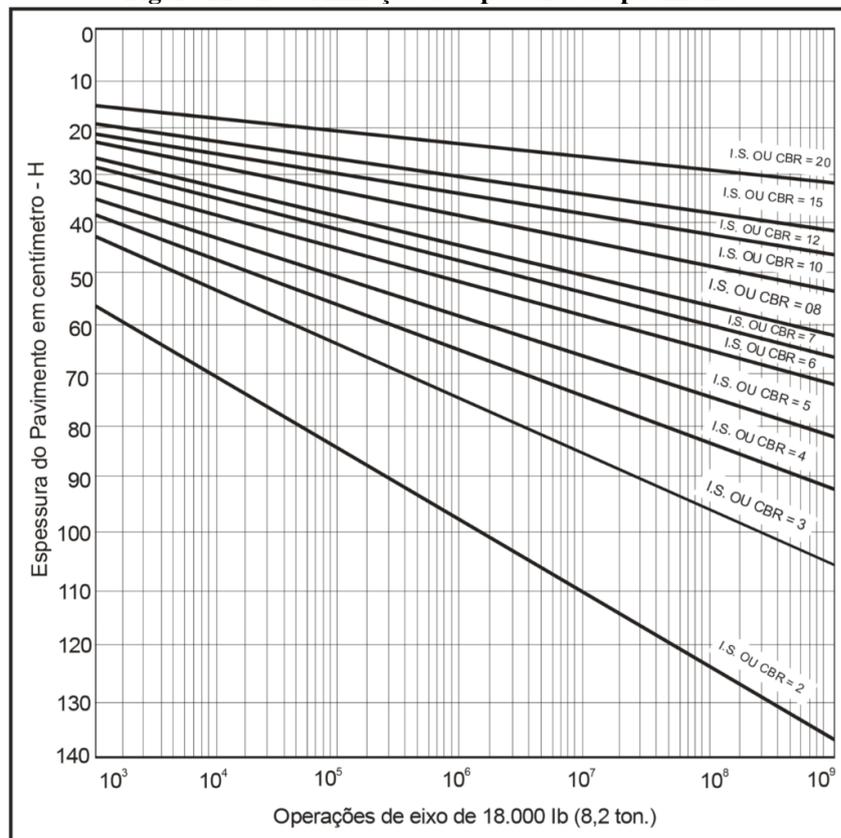
$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S + H_n K_{Ref} \geq H_m \quad (11)$$

Figura 21 - Dimensionamento do pavimento



Fonte: DNIT, 2006

Figura 22 - Determinação de espessuras do pavimento



Fonte: DNIT, 2006

Acostamento - Não se dispõe de dados seguros para o dimensionamento dos acostamentos, sendo que a sua espessura está, de antemão, condicionada à da pista de rolamento, podendo ser feitas reduções de espessura, praticamente, apenas na camada de revestimento. A solicitação de cargas é, no entanto, diferente e pode haver uma solução estrutural diversa da pista de rolamento. (DNIT 2006)

Segundo o DNIT (2006) adoção da estrutura de rolamento no acostamento tem efeito benéfico desta e simplifica os problemas de drenagem, e geralmente se usa os mesmos correspondentes das camadas de reforço e sub-base no acostamento, se o custo da base não for muito elevado, também pode-se utilizar, o revestimento do acostamento pode-se ser inferior ao da pista de rolamento.

Quando sua camada base é de alto custo, tem-se soluções de menor custo para os acostamentos. Algumas sugestões, podendo ser:

- a) adoção, nos acostamentos, na parte correspondente à camada de base, de materiais próprios para sub-base granular de excepcional qualidade, incluindo solos modificados por cimento, cal, etc.
- b) consideração, para efeito de escolha de revestimento, de um tráfego nos acostamentos da ordem de, até 1% do tráfego na pista de rolamento. (DNIT 2006)

Quando não se dispõe de muitos dados sobre o tráfego na região, pode ser feita a pavimentação por etapas, onde é conveniente pois ao completar o projeto definitivo, pode eliminar pequenas irregularidades que venham a ocorrer nos primeiros anos de vida do pavimento.

- Para o estudo de caso obteve os seguintes resultados:

H_m – é espessura total do pavimento tem ligação direta ao CBR de seu subleito e ao seu número N, para cálculo esse valor foi encontrado na Figura 22 de determinação de espessura de pavimento H_m igual a 65cm.

H_n – é a soma das espessuras do revestimento, base e sub-base, tem relação com CBR do reforço de subleito e o número N, para cálculo foi encontrado na Figura 22 de determinação de espessura de pavimento H_n igual a 38cm.

H_{20} – é a soma das espessuras do revestimento e base do pavimento, tem relação com CBR do material da base e o número N, para cálculo foi encontrado na Figura 22 de determinação de espessura de pavimento H_{20} igual a 21cm.

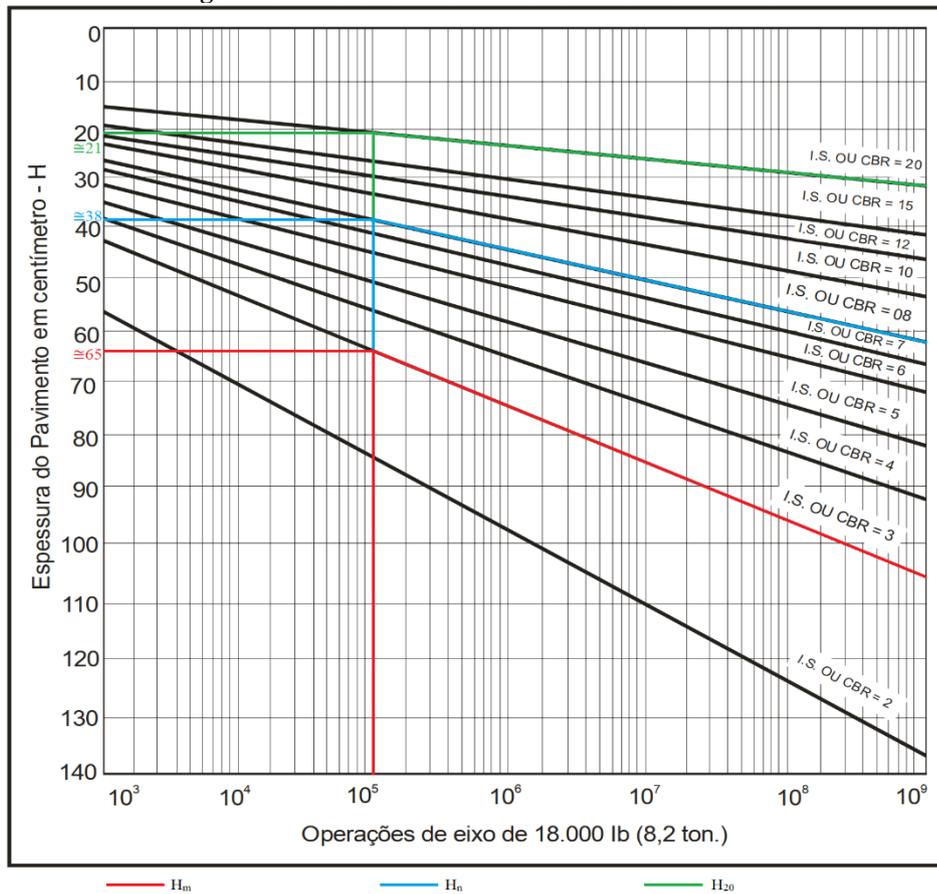
Após determinadas H_m , H_n e H_{20} foram utilizadas as equações 9, 10 e 11 para achar a espessura dos pavimentos, sabendo que o revestimento mínimo é dado na tabela 4, sendo tratamento superficial, porém no município de Anápolis não se pode utilizar tratamento

superficial de acordo com a lei complementar Nº 131 de 2006, art. 36 inciso I alterado pela lei complementar Nº 269 de 2011 diz “I – 100% (cem por cento) de pavimentação das vias de circulação, com CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado à Quente), conforme Procedimentos e Especificações de Serviço definidas pelas Normas Técnicas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (NR)” portanto para cálculo foi adotado o revestimento mínimo betuminoso de 3cm.

$$R = 3\text{cm}$$

Após saber todos os dados necessários, tais como número N, materiais e seus respectivos CBR e coeficiente de equivalência estrutural das camadas, CBR do subleito, iremos então utilizar as equações para determinar as espessuras das camadas do pavimento.

Figura 23 – Valores encontrado no dimensionamento



$$RKR + BK_B \geq H_{20} \quad (9)$$

$$3 \times 2 + B \times 1 = 21$$

$$6 + B = 21$$

$$B = 21 - 6$$

$$B = 15 \text{ cm}$$

A base deste pavimento deve apresentar 15cm de espessura.

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (10)$$

$$3 \times 2 + 15 \times 1 + h_{20} \times 1 = 38$$

$$21 + h_{20} = 38$$

$$h_{20} = 38 - 21$$

$$h_{20} = 17\text{cm}$$

A sub-base deste pavimento deve apresentar 17cm de espessura.

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m \quad (11)$$

$$3 \times 2 + 15 \times 1 + 17 \times 1 + h_n \times 1 = 65$$

$$38 + h_n = 65$$

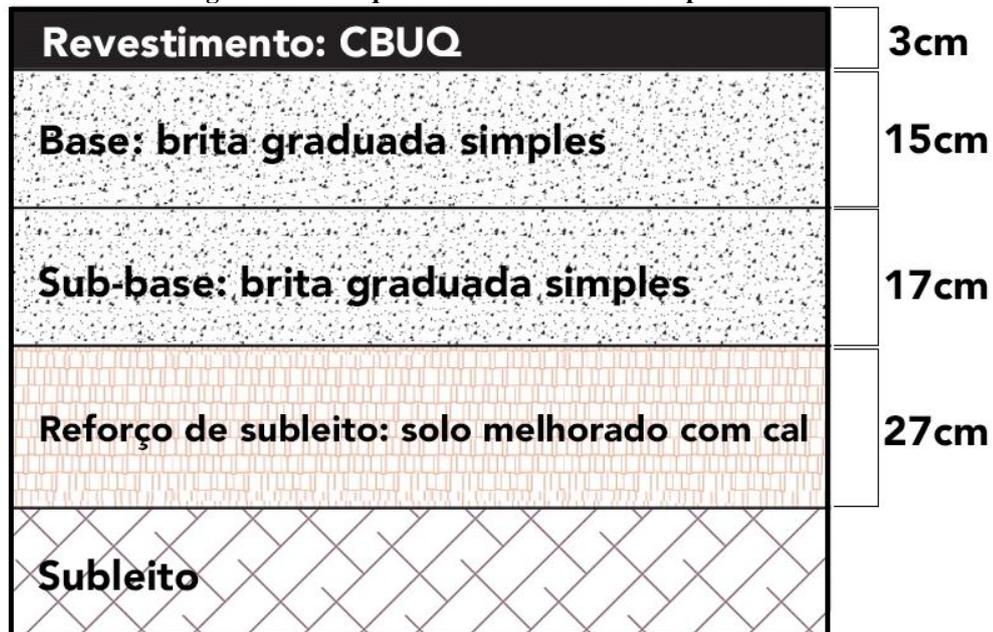
$$h_n = 65 - 38$$

$$h_n = 27\text{cm}$$

O reforço de subleito deste pavimento deve apresentar 27cm de espessura.

Após os cálculos, determinadas todas as espessuras do pavimento, pode-se representar o dimensionamento de acordo com o croqui da Figura 24.

Figura 24 – Croqui de dimensionamento do pavimento.



Fonte: Próprio autor, 2019

Por fim, a utilização do método DNER levou aos seguintes resultados: 15 cm para a base do pavimento, a ser executada com brita graduada simples de CBR acima de 60%; 17 cm para a sub-base, também executada com brita graduada simples, mas admitindo CBR acima de 20%; e de 27 cm para o reforço de subleito que, por sua vez, deverá ser executado com solo melhorado com cal, de CBR 8%. Já o revestimento deverá ser feito de material betuminoso, com coeficiente de equivalência estrutural igual a 2.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se as limitações presentes durante o desenvolvimento do projeto, como a falta de um estudo geotécnico prévio para determinar a qualidade do solo, fez-se necessária a adoção de alguns parâmetros. Tais variáveis foram escolhidas prezando pela segurança, adotando os valores de CBR de subleito e reforço de subleito de 3% e 8% respectivamente, indicados para as piores condições possíveis. Ressalta-se também a adoção do material recomendado pela legislação municipal para o revestimento betuminoso.

A elaboração deste trabalho permite concluir que ao se seguir os passos do dimensionamento do pavimento flexível através do método do DNER pode-se evitar boa parte das patologias nas quais se devem ao excesso de fadiga do pavimento, assim sendo um fator determinante para um pavimento de boa qualidade.

Com isso, pode-se concluir que a execução do pavimento de acordo com o dimensionamento dentro das normas adequado para a via estudada poderia ser de grande valia para garantir a sua qualidade e, conseqüentemente, a qualidade do tráfego na região central da cidade de Anápolis. Isso porque seriam reduzidos os constrangimentos e gastos causados pelas frequentes ações corretivas que se fazem necessárias na região.

REFERÊNCIAS

AGETOP, **Manual de pavimentação Urbana**, 2016.

ANDRADE, MARIO HENRIQUE FURTADO, **Pavimentação**. Universidade Federal do Paraná, 2010.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani et all. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006.

DER-RJ, **INSTRUÇÃO DE PROJETO**, Departamento de Estradas de Rodagem de Rio de Janeiro, 2006.

DNER, **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1996.

DNER-ME 043, **Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall**, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1995.

DNER-ME 049, **Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia**, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994.

DNIT, **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006 .

DNIT 031 - ES, **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006.

DNIT 144 - ES - **Pavimentação - Imprimação com ligante asfáltico - Especificação de serviço**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2014.

DNIT 145 - ES – **Pavimentação – Pintura de ligação com ligante asfáltico – Especificação de serviço**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2012.

DNIT 159 - ES - **Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2011.

DNIT 165 - EM - **Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2013.

DNIT-ME 172, **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2016.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira, **Pavimentação**, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 1997

FRANÇA, Frederico Lemos e FERNANDES, Társis Maday Jorge, **Patologia de pavimentos asfálticos**, UniEVANGÉLICA, 2017.

APÊNDICE

Projeto executivo da rua Dona Sandita – Anápolis – Goiás

Estudo preliminar

Após estudos do pavimento por alunos da UniEvangélica, foram constadas várias patologias no pavimento, e foram sugeridos pelos autores do estudo que a melhor solução seria a fresagem de toda a via, e remoção das camadas inferiores para reconstrução de novas camadas. Visando a necessidade de novo projeto de dimensionamento da via.

Estudo do local

Não havendo estudo prévio do subleito, neste dimensionamento prezando pela segurança e conforto será adotado parâmetros para as piores situações possíveis.

Trafego

A contagem de trafego deste projeto foi dada pela prefeitura em número N que é igual a 1×10^5 .

CBR

O ensaio CBR deverá seguir a norma DNIT 172/2016, mas por falta de condições e materiais para um ensaio adequado, este não foi realizado, adotando-se o CBR de subleito para a pior situação possível do pavimento que é quase o mínimo permitido por norma, 3%.

Materiais e seus coeficientes de equivalência

Sabendo o número N, também poderá se decidir sobre os materiais usados nas camadas e revestimento do pavimento:

- Revestimento – de acordo com a tabela de espessura mínima do revestimento do DNIT, o pavimento é considerado de trafego leve e seu revestimento seria

tratamento superficial que tem a espessura de 15mm a 30mm, mas no município de Anápolis, apenas pode utilizar CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado à Quente), de acordo com a lei complementar N° 131 de 2006, art. 36 inciso I alterado pela lei complementar N° 269 de 2011, então será utilizado CBUQ no revestimento com espessura de 30mm, sendo material betuminoso seu coeficiente de equivalência é 2.

- Base - para o DNIT pavimento com número N menor que ou igual a 5×10^6 , podem ser empregados materiais com CBR maior ou igual a 60%, sendo assim escolhida a brita graduada simples, sendo material granular seu coeficiente de equivalência é 1.
- Sub-base – toda sub-base deve apresentar CBR maior ou igual a 20%, assim sendo adotado também a brita graduada simples, sendo material granular seu coeficiente de equivalência é 1.
- Reforço de subleito – o reforço de subleito sempre deve apresentar CBR maior que o do subleito, então para este adotamos solo melhorado com cal que possui CBR de 8%, sendo material granular seu coeficiente de equivalência é 1.
- Subleito – não possui ensaio prévio porem adotou-se CBR de 3% por ser uma situação desvantajosa.

Após escolher os matérias e retirados seus coeficientes da tabela do DNIT, ficando $K_B = 2$, $K_S = 1$, $K_{Ref} = 1$, e $R = 3\text{cm}$.

Dimensionamento

Após saber o CBR das camadas, o número N e os coeficientes de equivalência estrutural poderemos dimensionar e achar a espessura de todas as camadas do pavimento.

Utilizando o ábaco da Figura 22, foram encontrados os valores a seguir (Figura 25):

$H_m = 65\text{cm}$.

$H_n = 38\text{cm}$.

$H_{20} = 21\text{cm}$.

Após jogar os valores encontrados nas equações, as espessuras de cada camada encontradas são:

$$RKR + BK_B \geq H_{20} \quad (9)$$

$$3 \times 2 + B \times 1 = 21$$

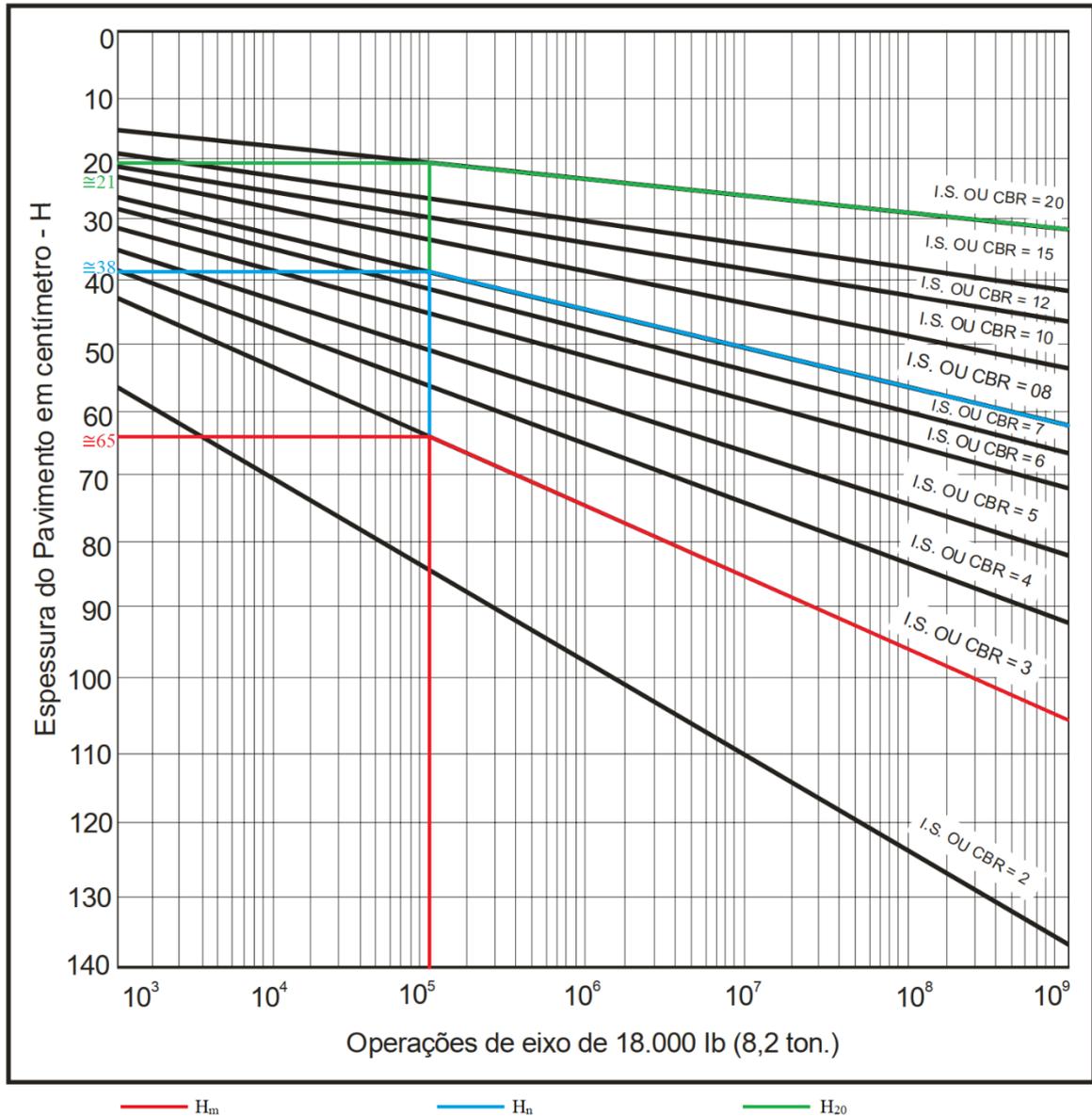
$$6 + B = 21$$

$$B = 21 - 6$$

$$B = 15 \text{ cm}$$

A base deste pavimento deve apresentar 15cm de espessura.

Figura 25 – Valores encontrado no Ábaco



Fonte: Próprio autor, 2019

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (10)$$

$$3 \times 2 + 15 \times 1 + h_{20} \times 1 = 38$$

$$21 + h_{20} = 38$$

$$h_{20} = 38 - 21$$

$$h_{20} = 17 \text{ cm}$$

A sub-base deste pavimento deve apresentar 17cm de espessura.

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m \quad (11)$$

$$3 \times 2 + 15 \times 1 + 17 \times 1 + h_n \times 1 = 65$$

$$38 + h_n = 65$$

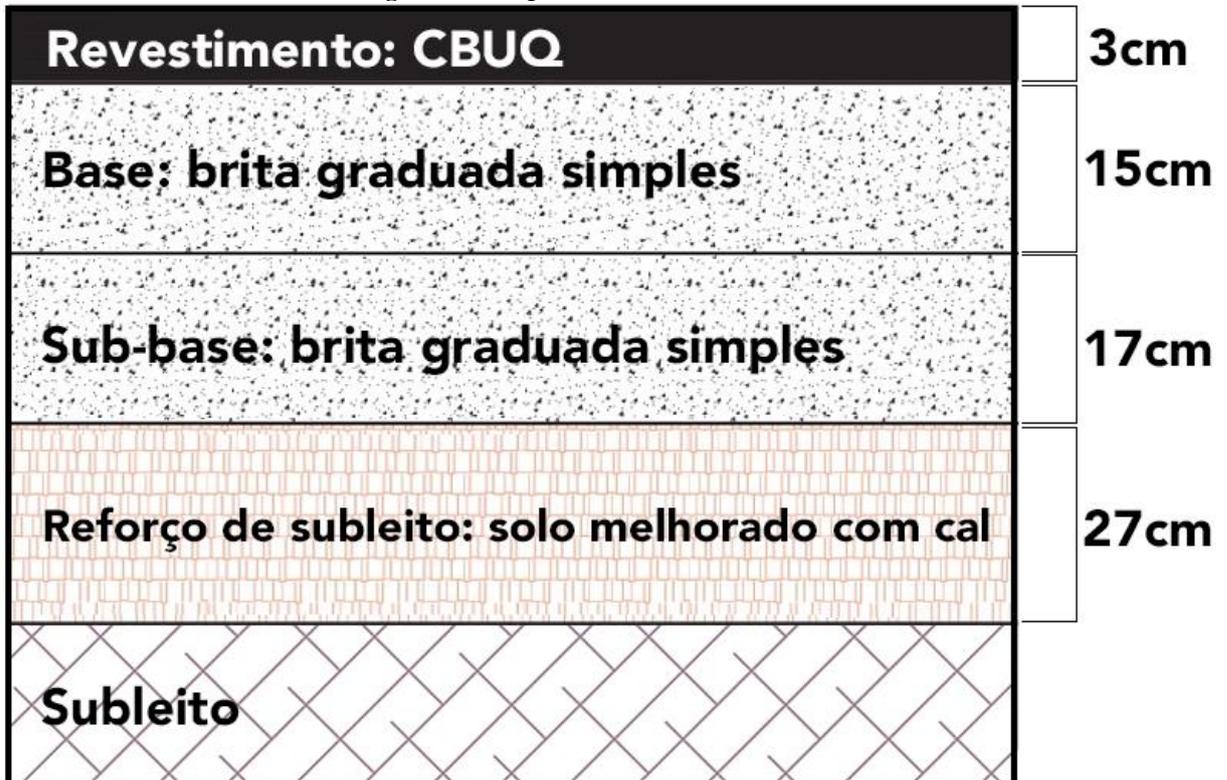
$$h_n = 65 - 38$$

$$h_n = 27\text{cm}$$

O reforço de subleito deste pavimento deve apresentar 27cm de espessura.

Após os cálculos, determinadas todas as espessuras do pavimento, pode-se representar o dimensionamento de acordo com o croqui da figura 26.

Figura 26 – Espessura de camadas achadas



Fonte: Próprio autor, 2019