



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Flávio Rennan de Araújo Soares Sousa

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ESTRUTURAL NO TRECHO DA AVENIDA LO - 12 NA CIDADE DE PALMAS - TO

Palmas - TO
2019

Flávio Rennan de Araújo Soares Sousa

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ESTRUTURAL NO TRECHO DA AVENIDA
LO - 12 NA CIDADE DE PALMAS - TO**

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito para a aprovação na disciplina de TCC II do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas.

Orientador Prof. *M.Sc.* Edivaldo Alves dos Santos.

Flávio Rennan de Araújo Soares Sousa

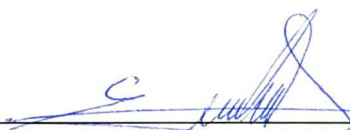
**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ESTRUTURAL NO TRECHO DA AVENIDA
LO - 12 NA CIDADE DE PALMAS - TO**

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito para a aprovação na disciplina de TCC II do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas.

Orientador Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: 14 / 11 / 2019

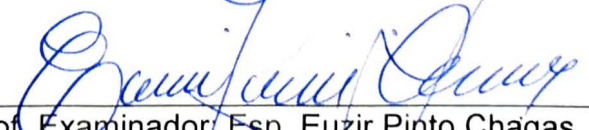
BANCA EXAMINADORA



Prof. Orientador: M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos.
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Examinador: M.Sc. Fernando Moreno Suarte Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Examinador: Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas - TO
2019

RESUMO

SOUSA, Flávio Rennan de Araújo Soares. Trabalho de Conclusão de Curso II. 2019. **Dimensionamento de pavimento estrutural no trecho da Avenida LO - 12 na cidade de Palmas – TO.** (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil, Palmas – TO.

O objetivo do presente projeto é demonstrar a viabilidade da execução de um pavimento estrutural em um trecho da Avenida LO – 12, na cidade de Palmas - TO, utilizando-se de pesquisas e análises do solo existente do trecho da Avenida NS – 15. A via escolhida para a pesquisa é utilizada como pista de trânsito para veículos de carga que precisam atravessar a cidade de Palmas, já que a avenida em comento possui tráfego significativo de veículos comerciais. O projeto tem por finalidade demonstrar o tipo de pavimento ideal para o trecho da Avenida LO – 12, por meio do dimensionamento das camadas do pavimento, comparando a viabilidade técnica de implantação entre o método flexível do DNER e o método rígido do PCA/1984. Com a obtenção dos dados geotécnicos da região estudada, foi realizado o dimensionamento das camadas do pavimento e a conclusão em relação as determinações fixadas ao longo do projeto demonstrou a viabilidade da implantação de um pavimento estrutural nessa via, que foi o método flexível do DNER, pois o custo de implantação para este caso foi muito menor em relação ao método rígido do PCA/1984.

Palavras-chave: Dimensionamento. Pavimento Estrutural. Tráfego. Flexível. Rígido

ABSTRACT

SOUSA, Flávio Rennan de Araújo Soares. Course Completion Paper II. 2019. **Design of structural pavement on the stretch of Avenida LO - 12 in the city of Palmas - TO.** (Bachelor of Civil Engineering) - Lutheran Palms University Center / Lutheran University of Brazil, Palmas - TO.

The objective of this project is to demonstrate the feasibility of building a structural pavement on a stretch of Avenida LO - 12, in the city of Palmas - TO, using research and analysis of the soil existing on the stretch of Avenida NS - 15. chosen for a survey is used as a traffic lane for cargo vehicles that cross the city of Palmas as an avenue with significant commercial vehicle traffic. The project aims to demonstrate the ideal type of pavement for Avenida LO-12, by sizing the pavement layers, comparing the technical feasibility of implantation between the DNER flexible method and the PCA / 1984 rigid method. Using geotechnical data from the studied region, the pavement layers were made or dimensioned and the conclusion regarding the determinations fixed throughout the project, demonstrated the feasibility of the implantation of a structural pavement on this road, which was the DNER method of use. The cost of implementing this case was much lower than the rigid method of PCA / 1984.

Keywords: Sizing. Structural floor. Traffic. Flexible. Hard.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - fatores de equivalência de carga do USCE.....	29
Tabela 2 - Determinação da espessura do Revestimento (Método CBR).....	31
Tabela 3 - Escolha do material da base (Método CBR).	31
Tabela 4 - Constante dos Materiais, fonte: DNIT (2006).	32
Tabela 5 - Volume médio diário anual de tráfego (VMDAT) - ANO BASE:2004.....	36
Tabela 6 - Taxas de crescimento geométrico anual do tráfego (i%)	36
Tabela 7 - Projeção do VMDAT até o ano de abertura: 2006	37
Tabela 8 - Classificação dos Veículos Agrupados em Frota e respectivas Cargas por Eixo	37
Tabela 9 - Matriz - Carga x Eixo (Pesagem: Quadro de Frequência).....	38
Tabela 10 - Projeção do Volume Médio Diário Anual de Tráfego (VDMAT).....	39
Tabela 11 - Fator de Equivalência de Operações - DNER 1966.....	40
Tabela 12 - Cálculos do Fator de Carga - FC (USACE)	40
Tabela 13 - Cálculos do Fator de Eixos (FE).....	41
Tabela 14 - Projeção do "VMDAT" e dos Valores de "N"	42
Tabela 15 - Espessura das Camadas do Pavimento (cm)	45
Tabela 16 - Cálculo do número de eixos solicitantes	48
Tabela 17 - Fatores de segurança para cargas (FSC)	49
Tabela 18 - Planilha de Dimensionamento de Pavimento de Concreto PCA 84	50
Tabela 19 - Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa)	51
Tabela 20 - Tensão Equivalente para Eixos Triplos (MPa)	52
Tabela 21 - Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos.....	53
Tabela 22 - Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos.....	53
Tabela 23 – Insumos do pavimento flexível	57
Tabela 24 - CAP x Cimento.....	57
Tabela 25 - Perfil estrutural do pavimento flexível.....	60
Tabela 26 - Perfil estrutural do pavimento rígido.....	61
Tabela 27 - Custo dos Insumos do Pavimento Flexível	62
Tabela 28 - Custo dos Insumos do Pavimento Rígido	62
Tabela 29 - Composição do traço do CBUQ	62
Tabela 30 - dimensionamento de consumo do material.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Seção típica de um pavimento flexível	14
Figura 2 - Seção típica de um pavimento semi-rígido	15
Figura 3 - Seção típica de um pavimento rígido	15
Figura 4 - Seção típica de um pavimento flexível.....	17
Figura 5 – Trecho a ser utilizado no estudo	25
Figura 6 - Eixos por tandem, e seus respectivos carregamentos em tf.....	28
Figura 7 - Detalhamento das camadas do pavimento	33
Figura 8 - Estrutura do pavimento flexível.....	45
Figura 9 - Correlação entre CBR e Coeficiente de recalque k	46
Figura 10 - Aumento do coeficiente de recalque devido à presença de sub-base de solo cimento.....	47
Figura 11 - Análise de Fadiga - Número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga	54
Figura 12 - Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)	55
Figura 13 - Estrutura final do pavimento rígido.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 GENERALIDADES DA PAVIMENTAÇÃO	13
2.2 Definições de pavimento.....	14
2.3 Tipos de pavimento	14
2.4 Camadas constituintes do pavimento flexível	16
2.4.1 Revestimento ou capa de rolamento.....	16
2.4.2 Base	16
2.4.3 Sub-Base	16
2.4.4 Subleito	16
2.4.5 Reforço do Subleito.....	17
2.4.6 Regularização do Subleito	17
2.4.7 Leito	17
2.5 REVESTIMENTOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	18
2.5.1 Terminologia dos revestimentos.....	18
2.5.2 Classificação dos revestimentos	19
2.6 CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS	21
2.6.1 Termos e Conceitos	21
2.6.1 Volume de tráfego.....	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 DELIMITAÇÃO DO TRECHO A SER ESTUDADO	25
3.2 COLETA DE DADOS ESTATÍSTICOS DE TRÁFEGO.....	25
3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS	26
3.4 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	26
3.4.1 Análise Granulométrica	26

3.4.2 Limite de liquidez (LL)	27
3.4.3 Limite de plasticidade (LP)	27
3.4.4 Ensaio de Compactação	27
3.4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	27
3.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	28
3.5.1 Determinação do Fci	29
3.5.2 Determinação da frequência relativa (fi).....	29
3.5.3 Determinação da frequência de carga (FC):	30
3.5.4 Cálculo do volume médio tráfego (VM ou VMD)	30
3.5.5 Determinação do número (N).....	30
3.5.6 Cálculo das camadas de base, sub-base e subleito	32
3.5.7 Detalhamento das camadas do pavimento	33
3.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO	34
4 DIMENSIONAMENTO E COMPARATIVOS.....	36
4.1 DIMENSIONAMENTO – PAVIMENTO FLEXÍVEL	36
4.2 DIMENSIONAMENTO – PAVIMENTO RÍGIDO	46
4.3 LEVANTAMENTO DE CUSTO DE INSUMOS	56
4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PAVIMENTOS DIMENSIONADOS ATRAVÉS DOS MÉTODOS DNER E PCA 1984.	57
4.4.1 Custo De Implantação	57
4.4.2 Custo de Manutenção.....	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA AVENIDA LO-12	59
5.2 OBTENÇÃO DOS ENSAIOS E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	59
5.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DNER DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	59
5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PCA 84 DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	60
5.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS DOIS MÉTODOS.....	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento econômico e social do Brasil somados ao crescimento das cidades brasileiras em decorrência do êxodo rural e a consequente explosão demográfica, fez com que a infraestrutura urbana fosse cada vez mais solicitada ao longo dos anos. Um dos principais acontecimentos que corrobora esse fenômeno é o aumento significativo da frota de veículos circulando no país, especialmente nas capitais e nos grandes centros populacionais.

O exponencial aumento dos veículos de passeio, utilitários e transportadores de grandes volumes de carga, ocasionou um maior desgaste pelo uso das vias pavimentadas, que são de grande importância para o funcionamento de toda a estrutura socioeconômica brasileira.

É fato notório a precariedade e a grande quantidade de patologias encontradas na malha viária urbana no Brasil, devido à falta de planejamento e de controle da ampliação das vias, da má execução e os poucos investimentos em pavimentação urbana, principalmente nos estados da região norte do país, é o que mostra a 23ª pesquisa de rodovias do CNT (Confederação Nacional de Transportes), divulgada neste ano. Com isso faz-se necessário um maior empenho em planejamento, e desenvolvimento de tecnologias e técnicas construtivas que permitam sanar esses problemas para que os prejuízos sejam minimizados e a agilidade do fluxo de veículos na malha viária urbana seja sempre otimizada.

No caso específico da cidade de Palmas – Tocantins, é possível verificar a ineficiência no planejamento e dimensionamento de pavimentos em vários pontos da cidade, tendo como resultado o surgimento de fenômenos patológico, os quais se agravam nas épocas chuvosas. Levando em consideração essas deficiências o presente trabalho visa apontar uma determinada metodologia de dimensionamento de pavimento estrutural para implantação no trecho da av. LO - 12 em Palmas – TO, que vem sendo utilizado como corredor de tráfego de veículos de carga que atravessam a cidade, vindo pela rodovia TO – 050 em direção à rodovia TO - 080.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar o dimensionamento de um pavimento estrutural para a Avenida LO – 12, na cidade de Palmas–TO, apontando a alternativa que apresente melhor viabilidade técnica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar e delimitar o trecho a ser estudado;
- Obter ensaios para a caracterização do solo com os materiais disponíveis na região estudada;
- Aplicar o método DNER de dimensionamento para pavimento flexível;
- Aplicar o método PCA 84 de dimensionamento para pavimento rígido;
- Realizar a análise comparativa entre o custo de implantação dos dois métodos e apontar o mais viável considerando as especificidades da via;

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A Avenida LO-12 foi uma das vias escolhidas para o tráfego de veículos pesados que necessitam atravessar a cidade nos sentidos leste – oeste e oeste – leste, e por isso considerou-se a implantação de um pavimento com características de maior resistência aos esforços solicitantes. A partir desse entendimento tem-se o seguinte questionamento: Qual pavimento é mais viável, rígido ou flexível?

1.3 JUSTIFICATIVA

Considerando as características urbanas e as especificidades de uso das vias urbanas da cidade de Palmas, pode-se aferir a ineficiência no planejamento e dimensionamento de pavimentos em vários pontos da cidade, tendo como resultado o surgimento de fenômenos patológico, os quais se agravam nas épocas chuvosas. Levando em consideração essas deficiências, o presente trabalho se justifica pela

necessidade de se empregar uma determinada metodologia de dimensionamento de pavimentos estruturais visando a concepção de uma estrutura de pavimentação condizente com o fluxo das vias de tráfego de veículos em Palmas - TO.

A pavimentação asfáltica do trecho da Avenida LO – 12, na cidade de Palmas apresenta patologias das mais variadas formas e tipos, que causam desgaste do pavimento com pontos críticos em algumas delas. O estudo dos modelos construtivos para pavimentação asfáltica, seja na implantação ou na manutenção se faz necessário para a identificação daquele que melhor desempenho apresentar, de forma que a viabilidade financeira esteja em paralelo a viabilidade técnica do seu emprego.

O uso do pavimento rígido em locais específicos poderia minimizar os custos com os reparos decorrentes da danificação das vias, em consequência de vários fatores de desgaste ou mesmo em futuras ampliações do projeto arquitetônico e urbanístico das áreas que permeiam as vias urbanas da cidade.

Comparar estes sistemas propostos pode beneficiar na escolha de qual deles trará maior vantagem para a recuperação da via, servindo de base para estudos que possam apresentar melhor qualidade, conforto, segurança, resistência e maior vida útil.

Para o acadêmico pesquisador a escolha do tema se fez pela sua grande compatibilidade e preferência no currículo acadêmico pela temática abordada, que é a pavimentação, e por esta ser a área almejada para sua futura carreira profissional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DA PAVIMENTAÇÃO

Andrade (2007), explica que os materiais betuminosos foram empregados na pavimentação pela primeira vez pelos romanos entre 600 AC e 700 DC, na forma de rejunte entre as peças que compunham o pavimento. Com a necessidade de haver ligações com todo o império, os romanos implantaram então uma grande linha rodoviária que pudesse dar acesso e manter essa comunicação.

O pavimento construído era composto de quatro camadas, na qual, a primeira camada era de areia superposta por camada de argamassa, com espessura de 30 cm, a camada superior era de lascas de pedra ou cascalho, espessura chegando até 50 cm, conseqüentemente mistura de blocos de pedra e a cal gorda, espessura de 30 cm e por fim, revestimento de lajes de pedras rejuntadas, com espessuras de 30 cm, na qual se generalizou a Via Appia, que dava acesso de Roma com Brindisi (ANDRADE, 2007).

As misturas betuminosas, processadas com asfaltos naturais, tiveram início na França, em 1802, mas só em 1909 se iniciou o emprego do asfalto derivado do petróleo. Entretanto, os primeiros estudos com as misturas betuminosas foram em 1920, através de Prevost Hubbard e F. C. Field, que elaboraram um método de ensaio, considerando a resistência ao cisalhamento (ANDRADE, 2007 *apud* SOUZA, 2004).

O CBR, uma vez traduzido, é conhecido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de forma padronizada, um pistão na amostra de solo preparada (SENÇO, 2001).

Através dos estudos do método do CBR, os engenheiros Turnbull, Foster e Ahivim, em 1962, desenvolveram os mais ousados métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis no Brasil, principalmente no estado de São Paulo, onde a prefeitura possuía suportes tecnológicos e usina para pavimentos flexíveis (SENÇO, 2001).

No Brasil a primeira inauguração da rede rodoviária foi das Vias Anchieta e Anhanguera, que foram ampliadas, São Paulo, em 1947, e a segunda foi no trecho

de Jundiaí, São Paulo, em 1948, primeira pista, ambas pavimentadas com placas de concreto (SENÇO, 2001).

2.2 DEFINIÇÕES DE PAVIMENTO

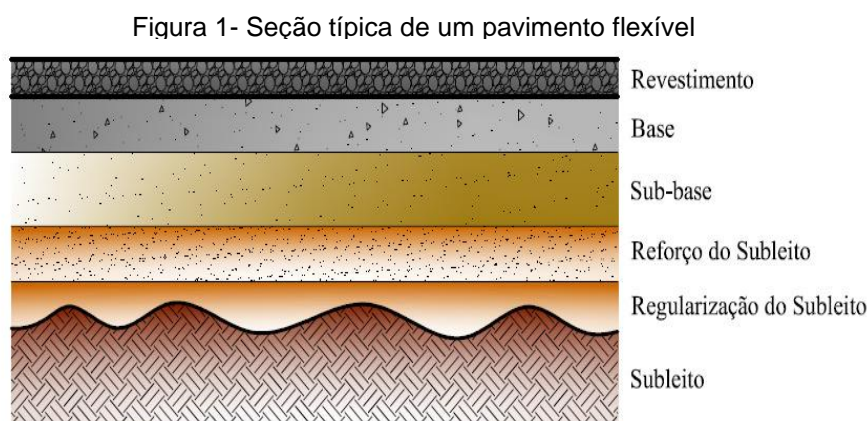
O pavimento constitui-se de uma estrutura construída após a terraplenagem e destinada econômica e simultaneamente, onde suas funções básicas são, resistir e distribuir ao subleito, os esforços verticais produzidos pelo tráfego, melhorar as condições de rolamento, quanto á comodidade e segurança, e resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT, 1982).

Pavimento é uma estrutura constituída por um sistema de camadas na qual suas espessuras são finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, sendo a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é denominada subleito (DNIT, 2006).

2.3 TIPOS DE PAVIMENTO

Os pavimentos podem ser classificados em três categorias principais, de acordo com DNIT (2006):

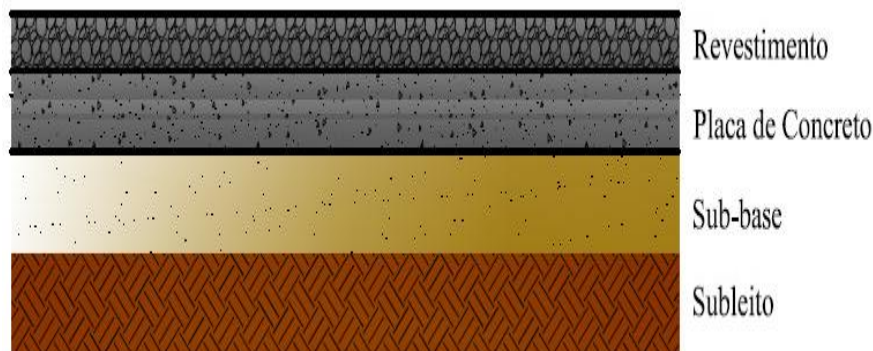
- Flexível - onde pode haver deformações elásticas significativas em todas as camadas sob o carregamento aplicado, pois as cargas se distribuem em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas, como ilustrado na figura 1.



Fonte: Adaptado de MARQUES, 2007.

- Semi-rígido - é conhecido como uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, e sendo revestida por uma camada asfáltica (ver figura 2).

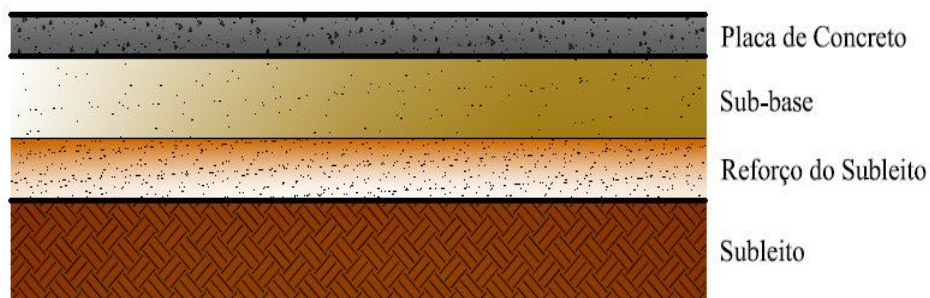
Figura 2 - Seção típica de um pavimento semi-rígido



Fonte: Adaptado de MARQUES, 2007.

- Rígido - é caracterizado por possuir uma elevada rigidez em seu revestimento em relação às camadas inferiores, podendo absorver praticamente todas as tensões provenientes do carregamento exercido, baseado na figura 3.

Figura 3 - Seção típica de um pavimento rígido



Fonte: Adaptado de MARQUES, 2007.

Nos pavimentos há situações intermediárias em que é difícil estabelecer um limite entre as duas famílias de pavimentos. No entanto, além de certas misturas betuminosas, os materiais como cimento e a cal, resistem apreciavelmente à tração. A consideração de deformabilidades simultâneas e resistência dos diferentes materiais permitirá fazer um melhor conhecimento da rigidez ou flexibilidade dos pavimentos (SOUZA, 1980).

2.4 CAMADAS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

2.4.1 Revestimento ou capa de rolamento

É a camada destinada a impermeabilizar o pavimento e resistir diretamente às ações do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto, segurança e comodidade, e transmitir os esforços horizontais, às camadas inferiores, de forma atenuada, tornando assim, a superfície de rolamento mais durável (DNIT, 2006).

2.4.2 Base

É a camada considerada estruturalmente a mais importante, com a função de resistir e redistribuir os esforços oriundos dos veículos, de forma atenuada as camadas subjacentes (subleito), podendo ser construída com materiais estabilizados granulometricamente ou quimicamente, utilizando-se a cal, cimento, betume e dentre outros (DNIT, 2006).

2.4.3 Sub-Base

É a camada complementar à base, só executada quando não for conveniente executar a própria base diretamente sobre a fundação regularizada (leito), por razões de ordem econômica, reduzindo a espessura da base, podendo exercer as mesmas funções da base, drenar infiltrações e controlar a ascensão capilar da água, quando for o caso (DNIT, 2006).

2.4.4 Subleito

É a própria fundação dita (terreno), onde a mesma tem a função de resistir os esforços oriundos transmitidos pelas camadas superiores (DNIT, 2006).

2.4.5 Reforço do Subleito

É a camada executada sobre o leito regularizado, tendo como objetivo de reduzir as camadas superiores e melhorar as características do subleito, através de compactações realizadas com base no CBR, obtido através de controle de qualidade (DNIT, 2006).

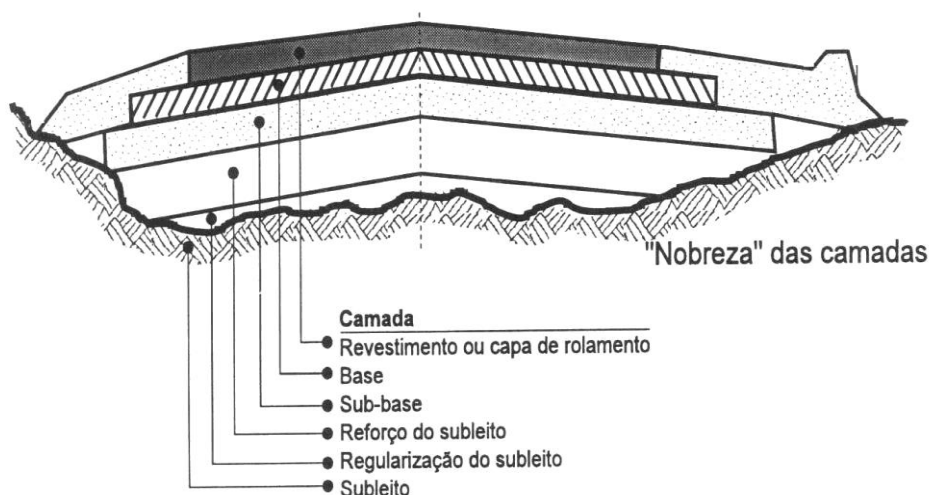
2.4.6 Regularização do Subleito

É uma camada de espessura variável, executada quando necessário, a conformar o leito, transversalmente ou longitudinalmente, com o objetivo de receber o pavimento. Entretanto, nas antigas estradas não pavimentadas é viável fazer a regularização, evitando-se o corte e a escarificação de uma camada superficial já existente pelo o tráfego (DNIT, 2006).

2.4.7 Leito

É a própria superfície do subleito, oriunda através da terraplenagem ou pelo o terreno natural (DNIT, 2006). Embora, o pavimento asfáltico tem suas generalidades, possuindo um processo de camadas que as tornam um pavimento flexível, como na figura 4.

Figura 4 - Seção típica de um pavimento flexível



Fonte: LIMA, 1993.

2.5 REVESTIMENTOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

2.5.1 Terminologia dos revestimentos

Nos revestimentos flexíveis betuminosos se caracterizam varias terminologias, de acordo com DNIT (2006):

- Usinados – concreto betuminoso, pré-misturado á quente e pré-misturado á frio,
- Tratamento Superficial – por penetração direta e por penetração invertida, podendo ser, simples, duplo, triplo e quádruplo,
- Calçamentos Articulados – alvenaria poliédrica, paralelepípedos, blocos de concreto pré-moldados e articulados.

2.5.1.1 Concreto betuminoso ou concreto betuminoso usinado a quente

É considerado o revestimento flexível mais nobre, consistindo na mistura de agregados e na dosagem do betume, respeitando todas as especificações. Sua mistura é feita na própria usina, dentro dos controles tecnológicos pertinentes, granulometria, teor de betume, temperatura dos agregados, transporte e na sua aplicação. Quando o ligante é o asfalto, é recomendado o seu revestimento para autovias e vias expressas (SENÇO, 2001).

2.5.1.2 Pré-misturado a quente

Sua mistura também é feita na própria usina, de agregado, asfalto ou alcatrão, onde o agregado é aquecido há uma temperatura próxima à temperatura do betume. No entanto, dentro dos controles tecnológicos, porém menos rigoroso do que a do concreto betuminoso, quanto á granulometria, quanto á estabilidade, e quanto ao índice de vázios (SENÇO, 2001).

2.5.1.3 Pré-misturado a frio

É definida como a mistura de agregado, asfalto ou alcatrão, pois, o agregado é empregado com a temperatura ambiente, não havendo nenhum aquecimento no mesmo, sendo menos nobre que os demais revestimentos, pré-misturado a quente e o concreto betuminoso (SENÇO, 2001).

2.5.1.4 Tratamentos superficiais

Consiste na penetração direta, quando a pintura corresponde-se a uma camada de agregado e é aplicada sobre a mesma. E na penetração invertida, quando a pintura corresponde-se a uma camada de agregado e é aplicada sob essa camada, podendo ser aplicada uma ou mais camadas de agregados ligadas por pinturas betuminosas. Independente dos dois casos, os tratamentos superficiais podem ser de acordo com SENÇO (2001):

- Simples – uma camada de agregado e uma pintura de betume,
- Duplo – duas camadas de agregado e duas pinturas de betume,
- Triplo – três camadas de agregado e três pinturas de betume, sendo uns dos mais executados na pavimentação,
- Quádruplo – quatro camadas de agregado e quatro pinturas de betume.

2.5.2 Classificação dos revestimentos

Os revestimentos flexíveis betuminosos podem ser caracterizados por penetração e por mistura. Por penetração: tratamentos superficiais betuminosos e macadames betuminosos. Por mistura: pré-misturado de graduação tipo aberta, pré-misturado de graduação tipo densa, areia betume e concreto betuminoso, de acordo com (DNIT, 2006):

- a) Revestimentos flexíveis betuminosos – por penetração é caracterizada por duas modalidades, por penetração direta e por penetração invertida;
- Revestimentos betuminosos por penetração direta – são revestimentos executados através do espalhamento e compactação de camadas de

agregados com granulometria apropriada, submetida a uma aplicação de material betuminoso e com uma aplicação final de agregado miúdo na última camada. O macadame betuminoso é um revestimento típico por penetração direta, no qual o seu processo construtivo é parecido ao tratamento duplo, podendo ser utilizado como camada de base.

- Revestimentos betuminosos por penetração indireta - são revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, com varias repetições de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. Os revestimentos característicos intitulados através do número de camadas são tratamento superficial simples, tratamento superficial duplo e tratamento superficial triplo.
- Revestimentos betuminosos por mistura – os agregados são envolvidos com o material betuminoso, antes da compressão, resultando-os em, pré-misturados na própria usina e os pré-misturados na pista, conhecido também como Road mixes, podem ser usados como bases de pavimento e como revestimento. Além dos seus processos construtivos podem ser adotados, pré-misturado a frio, pré-misturados a quente, pré-misturados areia-betume, com sua designação Sheet-asphalt, e a designação de Concreto betuminoso usinado á quente tem sido reservada para os pré-misturados a quente de graduação densa.

No entanto, há também os revestimentos flexíveis por calçamento caracterizados por alvenaria poliédrica, paralelepípedos e blocos de concreto pré-moldados e articulados. Os paralelepípedos por sua vez, são constituídos por: pedra, betume, concreto e cerâmica, de acordo com DNIT (2006):

- b) Revestimentos flexíveis por calçamento – por ser um tipo de pavimento que quase não se utiliza mais consideravelmente, de uma maneira geral, a sua execução se restringe a pátios de estacionamentos, vias urbanas e alguns acessos viários, se caracterizando como revestimento por calçamento.

2.6 CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS

2.6.1 Termos e Conceitos

De acordo com o DNIT/IPR (2006), a Contagem Volumétrica de Veículos é uma aferição do tráfego de veículos de todas as naturezas e porte, que é conduzida ao longo de uma rodovia, seja ela urbana ou rodoviária. Esse trabalho de contagem é comumente realizado de forma automática, ou seja, por meio da instalação de um dispositivo de registro de tráfego eletrônico temporário ou permanente, também sendo feito de forma manual por observadores que contam visualmente e gravam tráfego em um dispositivo eletrônico de mão ou em questionário de registro.

Os dados de contagem volumétrica de veículos são utilizados pelo órgãos e instituições públicas para várias finalidades, como por exemplo identificar quais rotas são mais usadas, e quais ações de melhoria devem ser tomadas melhorar uma rodovia ou fornecer uma alternativa se houver uma quantidade excessiva de tráfego. Além disso, alguns trabalhos geográficos de campo envolvem contagem volumétrica de veículos.

As contagens de tráfego fornecem os dados de origem utilizados para calcular o tráfego diário médio anual (TDMA), que é o indicador comum usado para representar o volume de tráfego. Esses dados de tráfego são úteis para comparar duas ou mais estradas, e também podem ser usadas com outros métodos para identificar uma cidade polo ou um centro industrial e comercial de acordo com sua localização e fluxo de veículos.

As contagens volumétricas que incluem aferição de velocidade são usadas nos esforços de imposição de limite de velocidade de tráfego, destacando os trechos de ocorrência de maior velocidade média geral, e dessa forma estabelecer meios de controle e punição para quem excede a velocidade regulamentada para a via.

- Contagens globais: Nesse tipo de contagem é aferida a quantidade de veículos que trafegam por um determinado trecho da via, não levando em consideração o sentido dos veículos, e classificando-os por suas diversas classes. São consideradas para o cálculo de volumes diários, elaboração de mapas de fluxo e determinação de tendências do tráfego.

- Contagens direcionais: Nesse tipo de contagem é aferida a quantidade de veículos que trafegam por um determinado sentido de fluxo da via, são consideradas para cálculos de capacidade de tráfego da via, determinar o tempo de intervalo dos semáforos, estudo de acidentes, previsão de ampliação no número de faixas para rampas ascendentes e justificação de controles do trânsito.
- Contagens classificatórias: São aquelas em que é aferido o volume de tráfego para diferentes tipos ou classes de veículos. São utilizadas principalmente para dimensionamento estrutural das camadas do pavimento, em elaboração de projetos geométricos de rodovias e interseções, cálculo de capacidade da via, cálculo de benefícios aos usuários e para encontrar os fatores de correção para as contagens mecânicas.

2.6.1 Volume de tráfego

Segundo DNIT/IPR (2006), define o volume de tráfego como o número de veículos que trafegam um determinado trecho de uma via em um intervalo de tempo. Para parâmetro de planejamento de rodovias e estimativa de crescimento do tráfego, a seção de tempo dos volumes de tráfego é o dia. Abaixo segue os parâmetros normalmente utilizados.

À média dos volumes de veículos que trafegam durante 24 horas em um trecho de uma via é denominado de “Volume Médio Diário” (VMD). Ele é calculado para um período representativo, que geralmente, é de um ano. Esse volume é um parâmetro que melhor representa a utilização da via, e é usado para indicar se há necessidade de novas vias ou melhorias das existentes, estimar benefícios esperados de uma obra viária, determinar as prioridades de investimentos, calcular taxas de acidentes, prever as receitas dos postos de pedágio, etc.

- Volume médio diário (VMD): De acordo com DNER (1997), o VMD é o volume médio de tráfego que acontece em determinado trecho de uma via, de certos períodos de dias. É determinado pela seguinte equação:

$$VMD = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{t}$$

onde:

x_i : Veículos que trafegaram naquele trecho durante o período t ;

t : número de dias observado.

- Volume médio diário mensal (VMDm) : Volume médio anotado durante um mês, em um determinado trecho de uma via. É obtido através da equação:

$$VMDm = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{m}$$

onde:

x_i : Veículos que trafegaram naquele trecho durante o período de um determinado mês;

m : número de dias do mês no qual foi feita a coleta.

- Volume médio diário anual (VMDa): É um valor que representa todos os volumes médio diário registrado no período de um ano em uma determinado trecho de uma via. E só é possível através de contagens continuas durante todo o período. É conseguido aplicando a seguinte equação:

$$VMDa = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{365}$$

onde:

x_i : Veículos que trafegaram naquele trecho durante o período de um ano.

- Volume médio diário semanal (VMDs): O VMDs é a representação do volume de tráfego médio ocorrido durante uma semana. É obtido pela seguinte equação:

$$VMDs = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{7}$$

onde:

x_i : Veículos que trafegaram naquele trecho durante o período de uma semana.

- Volume médio diário de um dia da semana (VMDd): É o total de veículos que trafegam em um determinado dia da semana, de um determinado trecho de uma via.

3 METODOLOGIA

3.1 DELIMITAÇÃO DO TRECHO A SER ESTUDADO

Foram realizadas visitas a campo a fim de detectar qual trecho da Avenida LO-12 (anel viário norte de Palmas) foi utilizado como trecho experimental para a pesquisa e dimensionamento do tipo de pavimento conforme os padrões propostos pelo DNIT, também foram coletadas as coordenadas com a utilização de GPS, para delimitação da área.

A figura 5, mostra parte do trecho da Avenida LO – 12 que foi utilizada como base para estudo de dimensionamento do pavimento estrutural.

Figura 5 – Trecho a ser utilizado no estudo



Fonte: Adaptado pelo autor de Google Earth (2019)

3.2 COLETA DE DADOS ESTATÍSTICOS DE TRÁFEGO

Para viabilizar o dimensionamento de pavimentos de acordo nos padrões propostos pelo DNIT (2006), foi necessária a utilização dos dados estatísticos que trafegam pela Avenida LO-12, dessa forma se foi realizado uma solicitação formal a secretaria de infraestrutura do município que é o órgão responsável para

disponibilização desses dados. Os dados foram levantados pelo DERTINS, no ano de 2004 e aplicando a taxa de crescimento de 2,5% ao ano.

Caso o quantitativo de fluxo de veículos não fosse disponibilizado pela secretaria de infraestrutura do município, a aferição seria realizada *in loco* para determinar o número N de passagens de veículos no trecho a que foi estudado com base na norma DNIT específica para esse tipo de determinação, segundo o modelo estatístico de Tráfego médio diário anual de veículos motorizados (TMDAm).

3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS

A obtenção dos dados de amostras de solo da região estudada para dimensionamento foi obtida junto à secretaria de infraestrutura do município, através de uma solicitação formal, pois esses dados foram aplicados como valor de referência para a Avenida LO-12.

Para a identificação das diversas camadas de solos através da inspeção no campo, foram feitos furos de sondagens nos eixos das pistas projetadas, espaçados longitudinalmente de 200 m, tanto nos cortes como nos aterros inferiores a 1,00 m. Para execução desses furos, foi fornecida uma nota de serviço de sondagem, baseado no greide de Terraplenagem, determinando a localização (estaca) e profundidade de cada um deles. Na Via em estudo em alguns segmentos, não foi obedecido os 200 m entre os furos de sondagem, pois a localização escolhida representou uma amostra mais representativa. A profundidade dos diversos furos de sondagem atingiu 0,60 m abaixo do greide projetado da terraplenagem. As amostras de solo foram coletadas, ensacadas e etiquetadas para posterior identificação, sendo a seguir encaminhadas ao laboratório.

3.4 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

3.4.1 Análise Granulométrica

Após a preparação da amostra foi separada uma quantidade de aproximadamente 5 kg, para a realização dos ensaios. Onde foi determinada a umidade higroscópica e em seguida realizado o peneiramento com a utilização das

peneiras indicadas na NBR 7181/2016. Com o peneiramento efetuado determina por meio de cálculo as frações em porcentagem passante em cada peneira, afim de permiti a confecção de um gráfico.

3.4.2 Limite de liquidez (LL)

Para a determinação do limite de liquidez se fará uso da metodologia prescrita na NBR 6459/2016, a qual preconiza os procedimentos a serem adotados na realização do ensaio.

3.4.3 Limite de plasticidade (LP)

O procedimento para a determinação do limite de plasticidade está prescrito na NBR 7180/2016, a qual estabelece que deve ser tomada uma porção de solo passante na peneira de nº 40, na qual essa devera sofrer acréscimos de água afim até obter uma mistura bastante plástica e que possa ser moldada com as mãos, ao se perceber a fissuração previa da amostra umidade essa estar apta a realização do ensaio, o qual consiste na moldagem de pequenos bastões sobre uma placa de vidro.

3.4.4 Ensaio de Compactação

Para a realização dos ensaios de compactação foi feito uso da NBR 7182/2016 a qual estabelece a sistemática a ser empregada para a realização dos ensaios de compactação. Para o mesmo deveram ser separadas 5 amostras cada uma com 7 kg, para proceder o ensaio.

3.4.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Após a realização do ensaio de compactação os cilindros contendo a amostras compactadas foram ser imersas em água durante o período de 4 dias, para posteriormente se executar o ensaio penetrométrico, conforme a NBR 9895/2016.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Conforme descrito no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o processo de dimensionamento para pavimento flexível segue o método empírico denominado de “dimensionamento tipo DNER”, o qual leva em consideração:

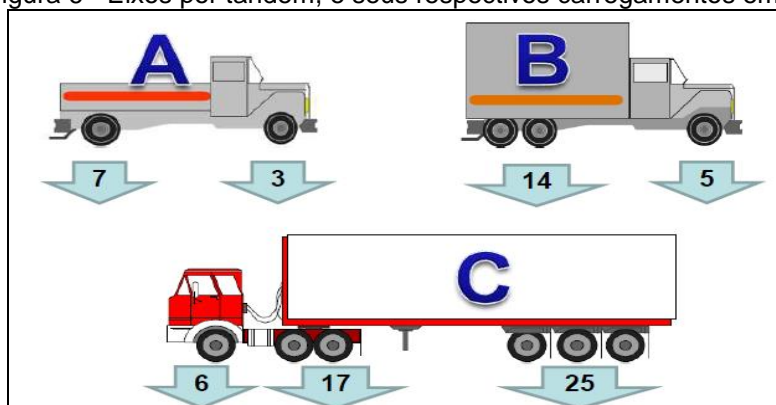
- A capacidade de suporte do subleito e materiais do pavimento
- Qualidade dos materiais
- O tráfego (Parâmetro do Tráfego)
- Fator de eixo
- Fator de carga
- Fator climático
- Coeficientes de equivalência estrutural
- Espessura do revestimento

Por se tratar de um estudo em que o método empregado é baseado em modelo empírico, o cálculo das camadas do pavimento proposto contou com os seguintes parâmetros, onde exemplificaram um tráfego significativo a ser aplicado ao trecho na Avenida LO-12 em Palmas - TO:

Foi considerado para o dimensionado do pavimento uma taxa de crescimento anual médio de 2,5%, (dados estatísticos de aumento de frota do Departamento de Estradas de Rodagens do Tocantins – DERTINS), com passagens de veículos no quantitativo definido pelo padrão DNER, conforme modelo demonstrado abaixo:

- Eixo Simples: 2375 passagens;
- Eixo Tandem Duplo: 383 passagens;
- Eixo Tandem Triplos: 88 passagens.

Figura 6 - Eixos por tandem, e seus respectivos carregamentos em tf.



Fonte: Desconhecida.

Para isso, o peso de carregamento por eixo considerado para os cálculos será dado em tf.

Com base no numero de passagem de cada veiculo e suas respectivas cargas, determinado os Fator de Carga (FC), Fator de Eixo (FE) e Fator de Veiculo (FV), conforme DNIT (2006).

3.5.1 Determinação do Fci

É dada de acordo com formulas propostas na tabela 1, onde será substituído pelas cargas de cada eixo (P em tf):

Tabela 1 - fatores de equivalência de carga do USCE

Equações de Equivalência de Carga		
Tipos de Eixo	Faixa de Carga (tf)	Equações FC (P em tf)
Diant. Simples e Tras. Simples	0-8	$(2,0782E-4) \cdot (P^{4,0175})$
	≥ 8	$(1,8320E-6) \cdot (P^{6,2542})$
Tandem Duplo	0-11	$(1,5920E-4) \cdot (P^{3,472})$
	≥ 11	$(1,5280E-6) \cdot (P^{5,484})$
Tandem Triplo	0-18	$(8,0359E-5) \cdot (P^{3,3549})$
	≥ 18	$(1,3229E-7) \cdot (P^{5,5789})$

Fonte: DNIT (2006).

3.5.2 Determinação da frequência relativa (fi)

Através da formula abaixo foi possível calcular a frequência relativa (fi), que é o resultado da divisão do numero de passagens por veiculo e numero de passagens total.

$$fi = \frac{\text{Numero de passagens por veiculo}}{\text{Numero de passagens Total}} \longrightarrow \text{Equação 1}$$

3.5.3 Determinação da frequência de carga (FC):

Resultado do somatório, da multiplicação entre as frequências $F_{ci} * f_i$.

$$\sum(F_{ci} * f_i). \quad \longrightarrow \text{Equação 2}$$

3.5.4 Cálculo do volume médio tráfego (VM ou VMD)

Foi calculado de acordo com a formula citada abaixo, onde:

- VMD 1: somatório do número de passagens
- P: período de projeto (10-20 anos, de acordo com DNIT)
- t: taxa de crescimento anual

$$VMD = \frac{VMD1 * [2 + (P - 1) * \left(\frac{t}{100}\right)]}{2} \quad \longrightarrow \text{Equação 3}$$

Cálculo do fator de eixo (FE):

$$FE = \frac{(FEA * \text{passagens A}) + (FEB * \text{passagens B}) + (FEC * \text{passagens C})}{(\text{passagens A} + \text{passagens B} + \text{passagens C})} \quad \longrightarrow \text{Equação 4}$$

3.5.5 Determinação do número (N)

Conforme DNER, o número N representa um número de passadas do eixo padrão na rodovia para um período estimado de 15 anos de utilização para o pavimento flexível e de 20 anos para o pavimento rígido, sendo que são considerados fatores climáticos de chuvas (FR), volume médio diário de tráfego (Vm) e fator de veículo (FV). Onde é determinado por:

$$N = 365 * VMD * P * FV * FR \quad \longrightarrow \text{Equação 5}$$

Onde:

- N: número equivalente de operações de eixo padrão durante o período de projeto escolhido.
- VMD: volume médio diário de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto.
- P: período de projeto ou vida útil em anos (usual de 10 anos para pavimento flexível e 20 anos para pavimento rígido)
- FV: fator de veículo
- FR: fator climático regional (fator de chuva)

Logo após o cálculo do o numero “N”, ele como referencia foi utilizado na tabela abaixo para determinar a espessura do revestimento betuminoso, conforme DNIT (2006).

Tabela 2 - Determinação da espessura do Revestimento (Método CBR).

Número “N”	Espessura Mínima de Revestimento
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5 \cdot 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0 cm de espessura
$5 \cdot 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006).

Analisando o valor do número N obtido no cálculo efetuado anteriormente como sendo $N > 10^6$, podemos obter a espessura da camada de revestimento e o CBR a ser utilizado na camada de base:

Tabela 3 - Escolha do material da base (Método CBR).

Número “N”	CBR (%)
$N \leq 10^6$	CBR ≥ 60
$N \geq 10^6$	CBR ≥ 80

Fonte: DNIT (2006).

Logo:

- CBR para base: $\text{CBR} \geq 80\%$.
- Revestimento (R): Revestimento betuminoso com 5,0 cm de espessura.

3.5.6 Cálculo das camadas de base, sub-base e subleito

Para base, determinar altura da camada (Ht), de acordo com número N encontrado e levando em consideração o CBR mínimo previsto pelo Manual do DNER de 20%.

Tabela 4 - Constante dos Materiais, fonte: DNIT (2006).

Componente do Pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento do concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, a graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	0,77 a 1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm ²	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,20

Fonte: DNIT (2006).

Após determinado o Kr conforme tabela de constantes dos materiais, e coeficiente de equivalência estrutural da base $K_b = 1$, aplicou-se:

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

$$B = x$$

→ Equação 6

Para sub-base utilizou-se o número N, CBR da camada inferior à camada de sub-base, no caso usar CBR do subleito pois o pavimento não terá camada de

reforço devido a boa resistência do subleito. Usando também o coeficiente de equivalência estrutural da sub-base $K_{SB} = 1$, ainda conforme método do DNIT.

$$:R * KR + B * KB + h_{20} * K_{SB} \geq H_n \longrightarrow \text{Equação 7}$$

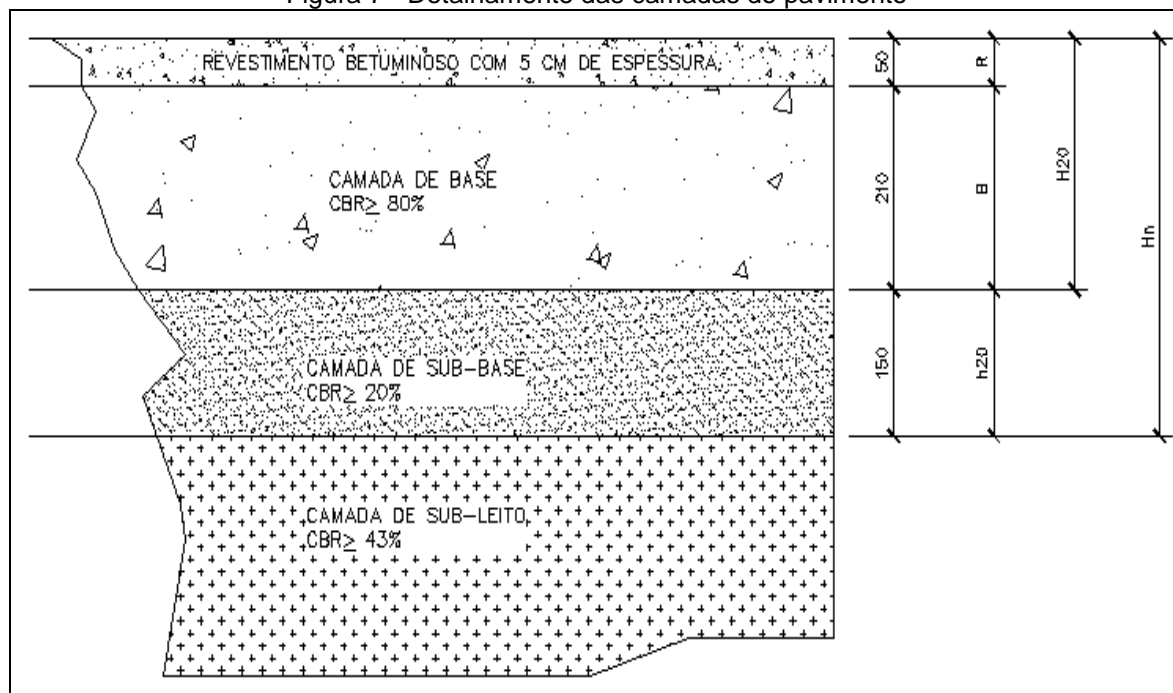
Após a determinação foi empregada a espessura dimensionada como preconiza o manual do DNIT.

Para o subleito e reforço do subleito, não será necessário cálculo da camada de reforço do subleito existente, pois o mesmo possui CBR satisfatório, necessitando apenas de uma camada de regularização antecedente a execução das camadas superiores.

3.5.7 Detalhamento das camadas do pavimento

A figura abaixo demonstra as camadas do pavimento que a metodologia do DNER adota para serem calculadas segundo o projeto.

Figura 7 - Detalhamento das camadas do pavimento



Fonte: DNIT (2006).

3.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO

O procedimento de dimensionamento do pavimento rígido tem como padrão o modelo da *Portland Cement Association* – PCA (1984), que utiliza como base os levantamentos usuais para placas de concreto desenvolvido por H. M. Westergaard e G. Pickett.

O dimensionamento se deu de acordo com as análises computacionais considerando a teoria dos elementos finitos, dos dados dos ensaios laboratoriais e de modelos sobre o comportamento de juntas e sub-bases e sua influência no desempenho do pavimento.

O procedimento exige o conhecimento da distribuição de frequência das cargas por tipo de eixo. As informações necessárias para o dimensionamento do pavimento de concreto são:

- Cargas por eixo simples, tandem duplo e tandem triplo;
- Fator de segurança para as cargas;
- Número previsto de repetições das cargas por eixo durante o período de projeto;
- Resistência característica à tração na flexão do concreto, $f_{ctM,k}$, aos 28 dias de idade;
- Coeficiente de recalque do subleito ou do sistema subleito e sub-base;
- Tipo de junta transversal, com ou sem barra de transferência;
- Tipo de acostamento, se de concreto ou não.

3.6.1 Determinação do coeficiente de recalque do subleito k

Com o CBR médio do subleito adquirido através da obtenção de dados geotécnicos, foi determinado o coeficiente de recalque k do subleito através do ábaco indicado pelo DNIT (2005), que faz uma correlação entre o CBR do subleito e o coeficiente de recalque.

3.6.2 Dimensionamento da camada de sub-base

Com dos valores do coeficiente de recalque k do subleito e o CBR médio,

foi determinada a camada de sub-base da estrutura do pavimento rígido de acordo com o ábaco indicado pelo DNIT (2005), que faz uma correlação com o CBR médio do subleito e o coeficiente de recalque k do subleito entre o coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base.

Com o tipo de material da sub-base determinado foi encontrado no ábaco do DNIT (2005), um determinado valor do coeficiente de recalque k , no topo da camada de sub-base, esse valor utilizou-se como parâmetro para determinação dos valores de Tensão Equivalente e Fator de Erosão nas tabelas estabelecidas no Manual de Pavimentação Rígida do DNIT (2005).

3.6.3 Dimensionamento da espessura da placa

Conforme especificado no modelo de projeto PCA (84), a determinação da espessura se dar por tentativa, foi calculado o número de eixos totais por classe de carga, que atuarão no pavimento durante o período de projeto.

Foi adotada uma resistência de 4,5 Mpa de tração do concreto aos 28 dias, via por ser em perímetro urbano não haverá espaço para acostamento, e não será considerado barras de transferência.

Utilizou-se as tabelas conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2005) de Tensão correspondente aos parâmetros determinados no projeto, da mesma maneira o fator de erosão, para o fator de fadiga é resultado da divisão da tensão equivalente de cada classe de eixo pela resistência a tração do concreto.

Foi estimado uma espessura tentativa de 25 cm, levando em consideração o coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base e o número de repetições admissíveis de carga foi calculado o consumo de fadiga e erosão de cada eixo, através do ábaco do Manual de Pavimentação Rígida do DNIT (2005).

Foi somado o consumo de fadiga e o consumo de erosão em porcentagem, como nenhuma das somas a porcentagem ficou acima de 100% a espessura adotada no dimensionamento atende as solicitações de projeto.

4 DIMENSIONAMENTO E COMPARATIVOS

4.1 DIMENSIONAMENTO – PAVIMENTO FLEXÍVEL

O presente projeto seguiu o Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis, da autoria do Engenheiro Murilo Lopes de Souza – 1961 / 1966. O pavimento foi dimensionado a partir do ISC do subleito e dos valores de tráfego preconizados pelo método. O dimensionamento do pavimento flexível foi realizado no ano base de 2004 e considerando um ano de abertura do trecho da via em 2006, para a via NS-15, que foi dimensionado pelos projetistas da Secretária de Infraestrutura do Estado do Tocantins. E esses dados foram utilizados para dimensionamento na LO- 12, pois se trata da mesma rota dos veículos. Foi utilizado a contagem da TO-010, fornecido pelo DERTINS, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Volume médio diário anual de tráfego (VMDAT) - ANO BASE:2004

VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO (VMDAT) - ANO BASE: 2004		
Rodovia: VIA NORTE		
Trecho: ENTR. TO-080 / ENTR. TO-010		
Veículo – Tipo	Quantidades	%
Passeios: Automóveis / Camionetas	5530	80,80
Leves: Ônibus / Coletivos - 2C	638	9,32
Médios: Caminhões Simples - 3C	227	3,32
Pesados: Caminhões Duplos - 4C	365	5,33
Articulados: Reboque e Semi-reboque	84	1,23
Outros	0	0,00
Total	6844	100,00

Fonte: DERTINS (2004)

O ano considerado para abertura do trecho foi o de 2006. As taxas de crescimento geométrico foram de acordo com a tabela 6.

Tabela 6 - Taxas de crescimento geométrico anual do tráfego (i%)

TAXAS DE CRESCIMENTO GEOMÉTRICO ANUAL DO TRÁFEGO (i%)		
VEÍCULOS	TAXAS DE CRESCIMENTO	
	ATÉ 2006 (ano a ano)	APÓS 2006 (ano a ano)
Passeios: Automóveis / Camionetas	2,00%	2,00%
Leves: Ônibus / Coletivos - 2C	2,50%	2,50%
Médios: Caminhões Simples - 3C	2,50%	2,50%
Pesados: Caminhões Duplos - 4C	2,50%	2,50%
Articulados: Reboque e Semi-reboque	2,50%	2,50%
Outros	2,50%	2,50%

Fonte: DERTINS (2004)

Portanto, atualizando os dados até o ano de abertura temos que:

Tabela 7 - Projeção do VMDAT até o ano de abertura: 2006

PROJEÇÃO DO VMDAT ATÉ O ANO DE ABERTURA: 2006									
VEÍCULOS / ANO	i %	QUANTIDADES							
		2004	2005	2006					
Passeios: Automóveis / Camionetas	2,00%	5530	5641	5753					
Leves: Ônibus / Coletivos - 2C	2,50%	638	654	670					
Médios: Caminhões Simples - 3C	2,50%	227	233	238					
Pesados: Caminhões Duplos - 4C	2,50%	365	374	383					
Articulados: Reboque e Semi-reboque	2,50%	84	86	88					
Outros	2,50%	0	0	0					
Total		6844	6988	7132					

Fonte: Adaptado pelo autor de DERTINS (2004)

Foi adotado para estatísticas de cargas os mesmos quantitativos de contagem de tráfego, considerando que 80% dos veículos de carga circulam totalmente carregados e 20% circulam vazios.

A partir das especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes dos veículos nacionais e estatísticas de pesagem de veículos, compatibilizou-se com a lei de balança e classificou-se os veículos segundo suas cargas por eixo, conforme tabela 8:

Tabela 8 - Classificação dos Veículos Agrupados em Frota e respectivas Cargas por Eixo
Classificação dos Veículos Agrupados em Frota e respectivas Cargas por Eixo

TIPO DE VEÍCULO	Cargas por Ex. (tonelada)			Observações
	1º Eixo	2º Eixo	3º Eixo	
Automóveis / Camionetas	≤ 1,0	≤ 1,5	-	EX. Simples
Ônibus / Coletivos	3,4	6,6	-	EX. Simples
Caminhões Simples Vazios	1,5	1,5	-	EX. Simples
Caminhões Simples Carregados	3,7	7,3	-	EX. Simples
Caminhões Duplos Vazios	3,0	2,5	-	2º Ex. Tandem
Caminhões Duplos Carregados	4,0	16,0	-	2º Ex. Tandem
Reboques Vazios	3,0	2,0	2,0	3º Ex. Tandem
Reboques Vazios Carregados	5,0	5,0	20,0	3º Ex. Tandem

Fonte: Adaptado pelo autor de DERTINS (2004)

Em função dos dados e critérios da Tabela 7 e 8, pode-se montar a matriz de carga por eixo, transcrita na Tabela 09 (Pesagem: Quadro de Frequência).

Tabela 9 - Matriz - Carga x Eixo (Pesagem: Quadro de Frequência)

MATRIZ - CARGA X EIXO (PESAGEM: QUADRO DE FREQUÊNCIA)											
TIPO DE VEÍCULOS	TIPO DE EIXO	TONELADAS POR EIXO (FREQUENCIA)									
		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
Passeios: Automóveis / Camionetas	Simplex	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Leves: Ônibus / Coletivos - 2C	Simplex	-	670	-	670	-	-	-	-	-	
Caminhões Simples Vazios (2 eixos)	Simplex	96	-	-	-	-	-	-	-	-	
Caminhões Simples Carregados (2 eixos)	Simplex	-	190	-	190	-	-	-	-	-	
Caminhões Duplos Vazios (2 eixos)	Simplex	-	77	-	-	-	-	-	-	-	
	Tandem	-	77	-	-	-	-	-	-	-	
Caminhões Duplos (2 eixos)	Simplex	-	-	306	-	-	-	-	-	-	
	Tandem	-	-	-	-	-	-	-	-	306	
Reboques Vazios (3 eixos)	Simplex	18	18	-	-	-	-	-	-	-	
	Tandem	-	18	-	-	-	-	-	-	-	
Reboques Vazios (3 eixos)	Simplex	-	-	140	-	-	-	-	-	-	
	Tandem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70
Totais	Simplex	114	955	446	860	-	-	-	-	-	
	Tandem	-	95	-	-	-	-	-	-	-	70

Fonte: Adaptado pelo autor de DERTINS (2004)

O fator climático regional, designado por FR, é um coeficiente introduzido no cálculo do número “N”, que objetiva computar a influência da precipitação pluviométrica sobre os materiais que compõem a estrutura do pavimento.

Parece mais apropriado a adoção de um coeficiente, quando se toma, para projeto, um valor C.B.R. compreendido entre o que se obtém antes e o que se obtém depois da embebição, isto é, um valor correspondente à umidade de equilíbrio. Tem-se adotado um FR=1,0 face aos resultados de pesquisas desenvolvidas no IPR/DNIT.

Para levantamento do Volume Médio Diário Anual de Tráfego (VMDAT), foi calculado todos os parâmetros para determinação do número “N” para 10 e 15 anos.

A partir dos dados atualizados até o ano de abertura, foi calculado para cada período de projeto (P), o Volume Médio Diário Anual de Tráfego, nos dois sentidos, para o trecho em questão, através da seguinte fórmula:

$$VMD_{ij} = V_{oi} \cdot (1 + t_i)^P \longrightarrow \text{Equação 8}$$

onde:

VMDij = Volume Médio Diário, nos dois sentidos de tráfego, de classe “i” de veículo no ano “j” ;

Voi = Volume médio diário nos dois sentidos de tráfego, da classe “i” de veículos, referido ao ano de abertura ;

ti = Taxa geométrica de crescimento, para a classe “i” de veículos ;

P = Período considerado, desde o ano de abertura (Voi) até o ano “j”.

Assim, pode-se ter a Tabela 10, que dá os valores de Vij anuais e acumulados para as classes “i” de veículos, permitindo levantarem-se os totais referentes aos anos “j” representativos de 10 e 15 anos procurados.

Tabela 10 - Projeção do Volume Médio Diário Anual de Tráfego (VDMAT)

PROJEÇÃO DO VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO (VDMAT)									
Taxa i% após Abertura		2,00%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	VMDAT Total (*)	VMDAT Acumulado
Nº DE ANOS	ANO	VEÍCULO-TIPO							
		Passeios: Automóveis / Camionetas	Leves: Ônibus / Coletivos - 2C	Médios: Caminhões Simples - 3C	Pesados: Caminhões Duplos - 4C	Articulados: Reboque e Semi-reboque	Outros		
	2006	5753	670	238	383	88	0	1379	1379
1	2007	5868	687	244	393	90	0	1414	2793
2	2008	5985	704	250	403	92	0	1449	4242
3	2009	6105	722	256	413	94	0	1485	5727
4	2010	6227	740	262	423	96	0	1521	7248
5	2011	6352	759	269	434	98	0	1560	8808
6	2012	6479	778	276	445	100	0	1599	10407
7	2013	6609	797	283	456	103	0	1639	12046
8	2014	6741	817	290	467	106	0	1680	13726
9	2015	6876	837	297	479	109	0	1722	15448
10	2016	7014	858	304	491	112	0	1765	17213
11	2017	7154	879	312	503	115	0	1809	19022
12	2018	7297	901	320	516	118	0	1855	20877
13	2019	7443	924	328	529	121	0	1902	22779
14	2020	7592	947	336	542	124	0	1949	24728
15	2021	7744	971	344	556	127	0	1998	26726
16	2022	7899	995	353	570	130	0	2048	28774
17	2023	8057	1020	362	584	133	0	2099	30873
18	2024	8218	1046	371	599	136	0	2152	33025
19	2025	8382	1072	380	614	139	0	2205	35230
20	2026	8550	1099	390	629	142	0	2260	37490
Totais		148345	18223	6465	10429	2373	0	37490	
%		-	48,61	17,24	27,82	6,33	0	100	

(*) Para cálculo do VMDAT foram utilizados somente os Veículos Comerciais (Leves, Médios, Pesados e Articulados)

Fonte: Adaptado pelo autor de DERTINS (2004)

- Determinação do Fator de Veículo (FV)

Foi calculado o Fator de Carga (FC) da frota, conforme Tabela 12.

Tabela 11 - Fator de Equivalência de Operações - DNER 1966

TAB. 07 - FATOR DE EQUIVALENCIA DE OPERAÇÕES - DNER - 1966		
Carga Eixo (t)	Fator de Equivalência de Operações	
	Eixo em Tandem	Eixo Simples
0,5	0,00008	0,00010
1,0	0,0004	0,00038
1,5	0,0009	0,00120
2,0	0,002	0,00360
3,0	0,005	0,0130
4,0	0,012	0,0470
5,0	0,030	0,110
6,0	0,065	0,280
7,0	0,110	0,590
8,0	0,200	1,000
9,0	0,310	2,000
10,0	0,530	3,500
11,0	0,800	6,000
12,0	1,300	10,00
13,0	2,000	16,00
14,0	3,000	25,00
15,0	4,100	37,00
16,0	6,500	55,00
17,0	8,000	80,00
18,0	11,00	
19,0	15,00	
20,0	22,00	

Fonte: DERTINS (2004)

Tabela 12 - Cálculos do Fator de Carga - FC (USACE)

TAB. 08 - CÁLCULOS DO FATOR DE CARGA - FC (USACE)					
Carga por Eixo		Frequência		Fator de Equivalência	Operações Equivalentes
Eixo	Carga (t)	Absoluta	Percentual		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SIMPLES	2	114	4,01	0,00360	0,0144
	3	955	33,56	0,01300	0,4362
	5	446	15,67	0,11000	1,7238
	7	860	30,22	0,59000	17,8285
TANDEM	3	95	3,34	0,00500	0,0167
	5	-	-	0,03000	-
	17	306	10,75	8,00000	86,0155
	19	70	2,46	15,00000	36,8939
TOTAIS		2846	100,00	-	142,9290
NOTAS:				FC	1,42929
(1) - Transcrito o valor médio de intervalo de carga do eixo considerado (TAB. 05);					
(2) - Valor de frequência absoluta fornecido na TAB. 05;					
(3) - Frequência em porcentagens, calculada em relação ao total da frequência absoluta;					
(4) - Fator extraído da TAB. 07, transcrita acima;					
(5) - Resultante do produto de (3) e (4).					

Fonte: DERTINS (2004)

O fator de carga da frota (FC) é dado pela expressão:

$$Fator\ de\ Carga = FC = \frac{Total\ de\ Operações\ Equivalentes}{100} = \frac{142,9290}{100} = 1,42929 \quad \longrightarrow \text{Equação 9}$$

A seguir calculamos o fator de eixos da frota (FE), que foi dado pela expressão:

$$FE = (P2/100).2 + (P3/100).3 + \dots + (Pn/100).n \quad \longrightarrow \text{Equação 10}$$

onde:

P2 = porcentagem de veículos com 2 eixos;

P3 = porcentagem de veículos com 3 eixos;

Pn = porcentagem de veículos com n eixos.

Assim, para o trecho em questão temos a Tabela 13:

Tabela 13 - Cálculos do Fator de Eixos (FE)

TAB. 09 - CÁLCULOS DO FATOR DE EIXOS (FE)			
Veículo - Tipo	P (%) (1)	Nº. Eixos	FEi
Leves: Ônibus / Coletivos - 2C	48,59	2	0,97186
Médios: Caminhões Simples - 3C	17,26	2	0,34516
Pesados: Caminhões Duplos - 4C	27,77	2	0,55546
Articulados: Reboque e Semi-reboque	6,38	3	0,19129
Total	100,00	FE	2,06376
NOTAS:		FE adotado (2)	2,07000
(1) Valores extraídos da TAB. 06			
(2) Quando houver deficiência, falta de dados ou FE calculado for menor que 2,07 é proposta adotar o valor FE = 2,07 (SENÇO, Wlastermiler de - Manual de Técnicas de Pavimentação - Vol. 1, São Paulo, PINI, 1997)			

Fonte: DERTINS (2004)

O fator de veículos da frota (FV) é dado pela expressão:

$$FV = FC \times FE = 1,42929 \times 2,07000 = 2,95863 \quad \longrightarrow \text{Equação 11}$$

- Cálculo do Número "N"

Conforme metodologia o número "N" é dado pela seguinte expressão:

$$N_j = V_j \times FV \times FR \times FP \longrightarrow \text{Equação 12}$$

Assim, através desta fórmula e dos dados anteriormente encontrados, foi elaborado a Tabela 14 - Projeção do VMDAT e dos Valores de N calculado ano a ano e acumulado, obtendo o seguinte valor final para o projeto:

$$N_{10}=8,37 \times 10^6 \text{ e } N_{15}=1,30 \times 10^7$$

Tabela 14 - Projeção do "VMDAT" e dos Valores de "N"

TAB.10 - PROJEÇÃO DO "VMDAT" E DOS VALORES DE "N"									
RODOVIA:		VIA NORTE							
TRECHO:		ENTR. TO-080 / ENTR. TO-010							
ANO DA PESQUISA		TAXA DE CRESCIMENTO DO TRÁFEGO			PERÍODO DE PROJETO (ANOS)	FATORES DE VEÍCULO - FV		FATOR CLIMÁTICO REGIONAL FR	FATOR DE PISTA FP
		PASSEIO	COLETIVO	CARGA		MÉTODO USACE			
2.004		2,00%	2,50%	2,50%	10	2,95863		1,00	0,45
VMD		COMPOSIÇÃO DA FROTA			ANO DE ABERTURA AO TRÁFEGO	NÚMERO "N" USACE		OBSERVAÇÕES	
		PASSEIO	COLETIVO	CARGA					
7.132		80,66%	9,39%	9,94%	2.006				
ANO		VEÍCULO - TIPO			VMDAT Comercial	ANUAL	ACUMULADO		
		PASSEIO	COLETIVO	CARGA					
	2.006	5.753	670	709	1.379	6,70E+05	6,70E+05		
1	2.007	5.868	687	727	1.414	6,87E+05	1,36E+06		
2	2.008	5.985	704	745	1.449	7,04E+05	2,06E+06		
3	2.009	6.105	722	764	1.486	7,22E+05	2,78E+06		
4	2.010	6.227	740	783	1.523	7,40E+05	3,52E+06		
5	2.011	6.352	758	802	1.560	7,58E+05	4,28E+06		
6	2.012	6.479	777	822	1.599	7,77E+05	5,06E+06		
7	2.013	6.608	796	843	1.639	7,96E+05	5,86E+06		
8	2.014	6.741	816	864	1.680	8,16E+05	6,67E+06		
9	2.015	6.875	837	885	1.722	8,37E+05	7,51E+06		
10	2.016	7.013	858	908	1.766	8,58E+05	8,37E+06		
11	2.017	7.153	879	930	1.809	8,79E+05	9,25E+06		
12	2.018	7.296	901	954	1.855	9,01E+05	1,01E+07		
13	2.019	7.442	924	977	1.901	9,24E+05	1,11E+07		
14	2.020	7.591	947	1.002	1.949	9,47E+05	1,20E+07		
15	2.021	7.743	970	1.027	1.997	9,70E+05	1,30E+07		

Fonte: DERTINS (2004)

- Determinação do Índice de Suporte do Sub-Leito

O I.S.C. foi determinado para o trecho em estudo através da média de dois valores estatísticos. Calculou-se um valor que engloba 80% dos valores de CBR existentes no subleito.

O segundo valor para o cálculo do ISp foi adotado pela fórmula preconizada pelo DNIT em seu “Método de Projetos para Pavimentos Flexíveis”, edição 1979, a saber:

$$ISp = \overline{CBR} - \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} \longrightarrow \text{Equação 13}$$

onde: _____

CBR - é o CBR médio dos valores considerados;

σ - desvio padrão dos valores considerados;

N - número de valores considerados.

Obtivemos os seguintes resultados:

1º Método: 80% dos valores

ISC = 9,00

Conforme gráfico anexo à TAB. 12

2º Método: CBR = 13,98 ; σ = 5,32 ; N = 100;

$$ISp = \overline{CBR} - \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} = 13,98 - \left[\frac{(1,29 \times 5,32)}{\sqrt{100}} \right]$$

ISp = 13,29

$$ISC \text{ adotado} = \frac{9,00 + 13,29}{2} = 11,15 \cong 11,00 \Rightarrow ISC = 11,0 \longrightarrow \text{Equação 14}$$

Tendo em vista o período inicial de vida do projeto de 15 anos, mais a avaliação negativa se faz hoje do comportamento dos cimentos asfálticos convencionais produzidos no Brasil, nos quais se observa uma baixa recuperação elástica, provocando a fadiga prematura dos revestimentos, propõe-se a utilização de CBUQ com asfalto polímero.

Determinação das espessuras das camadas de sub-base e base:

- Método DNER-66

O dimensionamento das camadas foi feito pela resolução sucessiva das inequações seguintes:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \longrightarrow \text{Equação 15}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} \geq H_n$$

Onde:

R = espessura do revestimento;

B = espessura da base;

h 20 = espessura da sub-base;

H 20 = espessura necessária para recobrir a sub-base granular;

Hn = espessura necessária para recobrir um sub-leito com ISC = 11 .

Dados:

$$N_{15} = 1,30 \times 10^7$$

$$R = 5,0$$

$$ISC = 11$$

$$K_R = 2,0$$

$$H_{11} = 45$$

$$K_B = 1,0$$

$$H_{20} = 30$$

$$K = 0,8$$

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

$$5,0 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 30 \rightarrow B = 20cm$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} \geq H_n$$

$$5,0 \times 2,0 + 20 \times 1,0 + h_{20} \times 0,8 \geq 45 \rightarrow h_{20} = 19cm$$

- Método DNER-61

Neste Método, as características desta rodovia nos levaram a adotar a Curva C - Tráfego Pesado. E entrando no Gráfico em anexo, com os dados abaixo, obtivemos os valores abaixo:

Curva C – Tráfego Pesado

$$ISC = 11$$

$$R = 5,0 \text{ (CBUQ)}$$

$$B + R = 22 \rightarrow B = 17\text{cm}$$

Espessura total do Pavimento:

$$B + S_b = 32,5$$

$$S_b = 32,5 - 17 \rightarrow S_b = 15,5\text{cm}$$

Após o dimensionamento, a constituição final do pavimento para fins construtivos será:

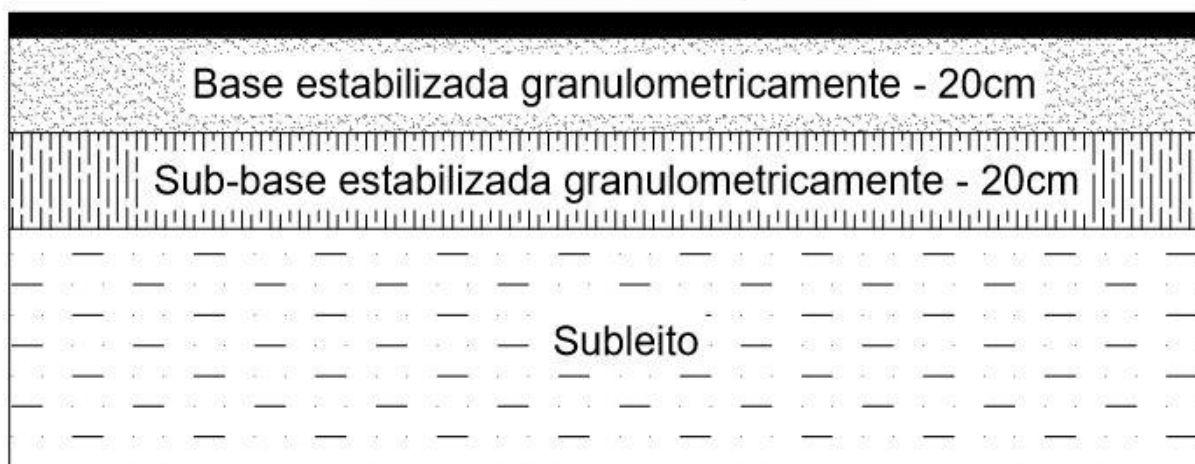
Tabela 15 - Espessura das Camadas do Pavimento (cm)

ESPESSURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO (cm)			
Camadas	Método DNER-66	Método DNER-61	Adotado
Revestimento	5,0	5,0	5,0
Base	20,0	17,0	20,0
Sub-base	19,0	18,0	20,0
Total	44,0	40,0	45,0

Fonte: DERTINS (2004)

Figura 8 - Estrutura do pavimento flexível

Revestimento CBUQ - 5cm

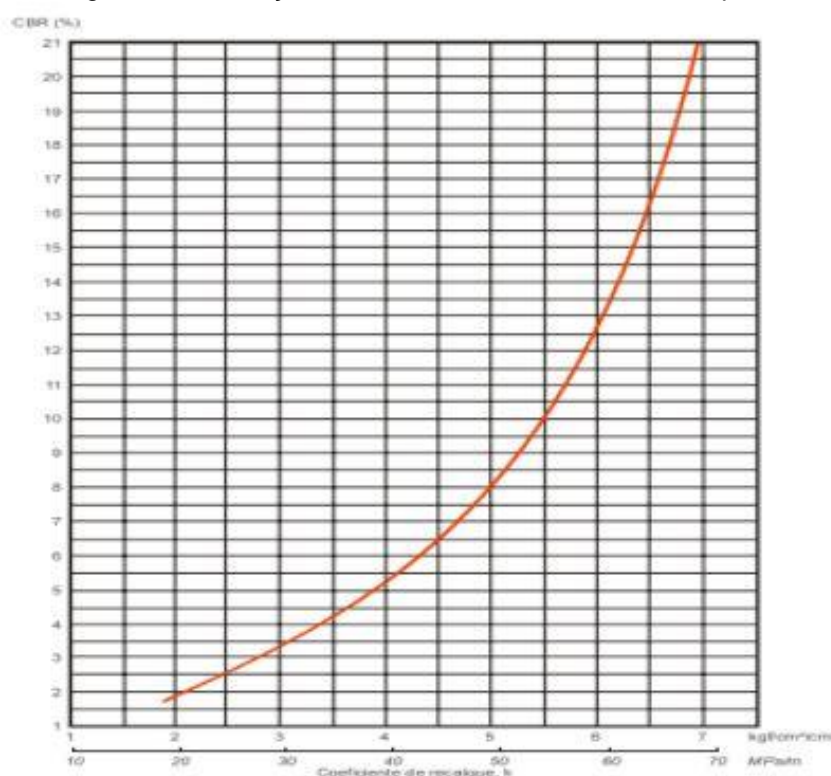


Fonte: Autor (2019)

4.2 DIMENSIONAMENTO – PAVIMENTO RÍGIDO

O método adotado para dimensionamento do pavimento rígido foi o PCA 84, e inicialmente será determinado o coeficiente de recalque do subleito, com o CBR médio do subleito adquirido através de ensaios é possível determinar tal coeficiente por meio do ábaco abaixo, que faz uma correlação entre o CBR do subleito e o coeficiente de recalque.

Figura 9 - Correlação entre CBR e Coeficiente de recalque k



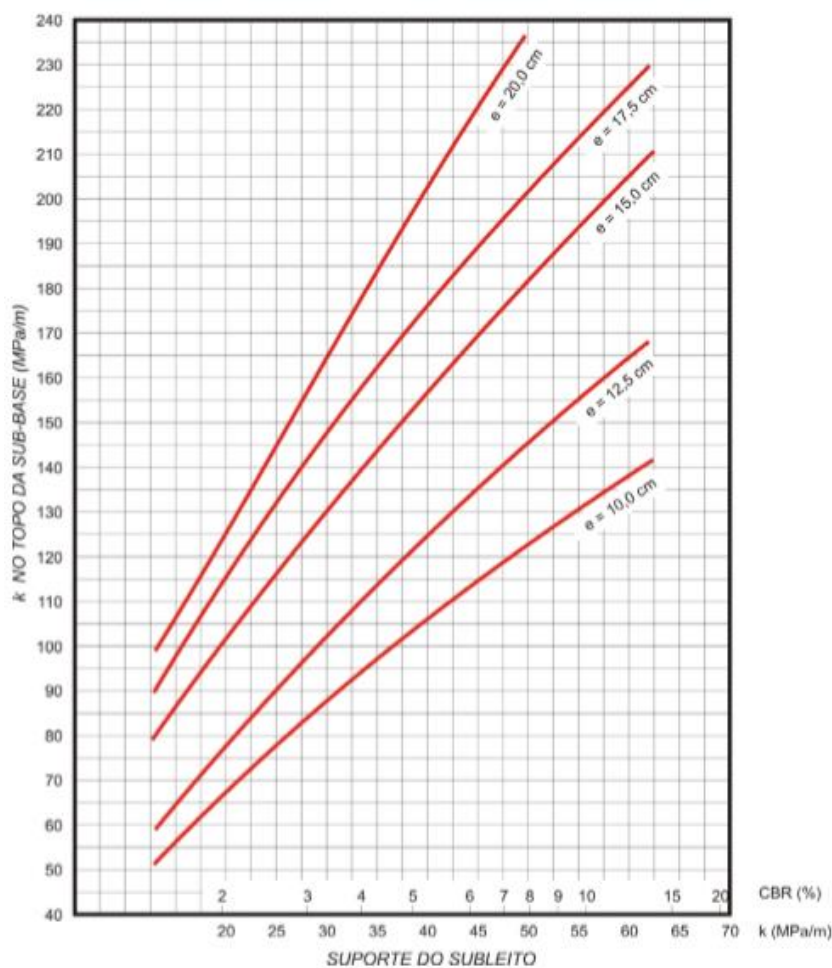
Fonte: DNIT (2005)

Segundo o ensaio de CBR médio do subleito é 13,98, será considerado 13,50 e o valor do coeficiente de recalque é igual a 5,5 kg/cm²/cm ou 55 Mpa/m. Mas esses valores não serão utilizados para cálculos, visto que acima do subleito haverá a camada de sub-base, que tem a finalidade de aumentar o valor do coeficiente de recalque, então o valor a ser considerado é imediatamente abaixo da placa de concreto, logo no topo da sub-base a ser utilizada.

Como demonstra DNIT, o valor do coeficiente de recalque no topo da camada da sub-base é encontrado através de ábacos e tabelas. A sub-base escolhida para

cálculo foi uma camada de solo cimento de espessura de 15 cm, logo o para calculo foi utilizado coeficiente de recalque encontrado no topo da camada sub-base foi de 173 Mpa/m, que foi utilizado como parâmetros para dimensionamento da espessura da placa de concreto. Abaixo é mostrado o ábaco com contribuição da camada de sub-base de solo-cimento para o coeficiente de recalque.

Figura 10 - Aumento do coeficiente de recalque devido à presença de sub-base de solo cimento



Fonte: DNIT (2005)

Quanto ao parâmetro do tráfego, inicialmente foi usado as mesmas informações já calculadas no dimensionamento flexível. Para cálculo do número de veículos que a via atenderá durante o período de 20 anos foi calculado conforme abaixo:

- Cálculo do volume de tráfego diário no sentido mais solicitado:

$$V_o = \frac{TDM}{2} = \frac{1379}{2} = 690 \text{ veic/dia} \rightarrow \text{Equação 15}$$

- Cálculo do volume de tráfego diário do primeiro ano de operação:

$$V^1 = V_o * \left[1 + \left(\frac{t}{100} \right) \right] = 690 * \left[1 + \left(\frac{2,5}{100} \right) \right] = 708 \text{veic} / \text{dia} \rightarrow \text{Equação 16}$$

- Cálculo do volume de tráfego diário no último ano de operação:

$$V_p = V^1 * \left[1 + \left(t * \frac{P}{100} \right) \right] = 708 * \left[1 + \left(2,5 * \frac{20}{100} \right) \right] = 1062 \text{veic} / \text{dia} \rightarrow \text{Equação 17}$$

- Cálculo do volume médio diário no sentido mais solicitado:

$$V_m = \frac{V^1 + V_p}{2} = \frac{708 + 1062}{2} = 885 \text{veic} / \text{dia} \rightarrow \text{Equação 18}$$

- Cálculo do volume total no sentido mais solicitado no período de operação:

$$V_t = 365 * V_m * P = 365 * 885 * 20 = 6.460.500 \text{veículos} \rightarrow \text{Equação 19}$$

Além do volume de veículos que trafegarão pela via no período de 20 anos de operação, deve se ter a composição desse tráfego e suas cargas por eixo solicitante da via. Esse dado é mostrado na tabela abaixo, o qual mostra o numero de eixos solicitante e suas respectivas cargas.

Tabela 16 - Cálculo do número de eixos solicitantes

	Carga por eixo (tf)	Frequência no período de projeto (nº de eixos)
Simples	6	10.424.235
	8	7.626.420
Tandem Duplos	16	2.797.815
Tandem Triplo	20	642.840

Fonte: Autor (2019)

O próximo passo é a definição de alguns parâmetros de projeto para dimensionar a base da via:

- Tipo de acostamento e se haverá barras de transferências nas placas de concreto;
- Resistência à tração aos 28 dias;
- Fator de segurança de carga;
- Tipo de pavimento de concreto escolhido.

Conforme demonstrado pelo DNIT (2005), com a presença de acostamento de concreto contribui significativamente a diminuição das deformações na borda do pavimento. Como o trecho para dimensionamento é perímetro urbano não havendo espaço suficiente para acostamento, considerando essas características não foi considerado a presença de acostamento de concreto no dimensionamento.

Em relação a resistência à tração do concreto aos 28 dias, considerado uma resistência padrão o valor de $f_{ctk} = 4,5 \text{ Mpa}$, esse valor é fundamental e será utilizado para cálculo do consumo de fadiga da estrutura.

O fator de segurança foi adotado o valor de 1,2, pois se trata de um trecho com alto tráfego de veículos comerciais pesados (caminhões), este fator tem o principal objetivo de suprir a não consideração do fator do modo de aplicação das cargas, que acontece de forma dinâmica no pavimento, o fator será multiplicado pela carga dos respectivos eixos considerado no dimensionamento.

Tabela 17 - Fatores de segurança para cargas (FSC)

Tipo de Pavimento	FSC
– para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
– para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
– para altos volumes de caminhões	1,2
– pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: DNIT (2005)

Neste estudo foi escolhido para pavimentação rígida, concreto simples sem barras de transferência.

Agora com todos os dados, o cálculo da espessura da placa de concreto será estabelecido por tentativa inicial, e será calculado o valor de consumo de resistência

à fadiga e à erosão. Se os valores de consumo de resistências resultarem próximo de zero, a espessura adotada inicialmente está satisfatória, mas a placa estará superdimensionada, logo os valores inferiores próximos de 100% é o ideal, pois significa que a estrutura do pavimento está trabalhado por completo com eficiência.

A seguir a planilha de dimensionamento utilizada com descritivos de cálculos.

Tabela 18 - Planilha de Dimensionamento de Pavimento de Concreto PCA 84

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PCA / 84

Projeto:	LO-12 PALMAS	Juntas com BT:	Não
Espessura:	25,00 cm	Acostamento de concreto:	Não
Ksb:	173 Mpa/m	Período de projeto:	20 anos
FSc:	1,20	Concreto, fctm,k:	4,50 Mpa

EIXOS SIMPLES

Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x Fsc (tf)	Número de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSÃO	
			Nº repetições admissíveis	Consumo de fadiga (%)	Nº repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
6,00	7,20	10.424.235	Ilimitado		Ilimitado	
8,00	9,60	7.626.420	Ilimitado		24.000.000	31,78%
Tensão equivalente		1,024				
Fator de erosão		2,691				
Fator de fadiga		0,228				

EIXOS TANDEM DUPLO

Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x Fsc (tf)	Número de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSÃO	
			Nº repetições admissíveis	Consumo de fadiga (%)	Nº repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
16,00	19,20	2.797.815	Ilimitado		8.000.000	34,97%
Tensão equivalente		0,844				
Fator de erosão		2,802				
Fator de fadiga		0,188				

EIXOS TANDEM TRIPLO

Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x Fsc (tf)	Número de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSÃO	
			Nº repetições admissíveis	Consumo de fadiga (%)	Nº repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
20,00	24,00	642.840	Ilimitado		19.000.000	3,38%
Tensão equivalente		0,627				
Fator de erosão		2,837				
Fator de fadiga		0,139				

Total Consumo			Fadiga	0,00%	Erosão	70,13%
----------------------	--	--	---------------	--------------	---------------	---------------

Fonte: Autor (2019)

Para cálculo da espessura da placa de concreto, foi determinada a espessura tentativa inicial, o primeiro passo foi calculado a tensão equivalente que o pavimento provavelmente estará submetido ao longo do período de projeto. A tensão equivalente varia de acordo com a espessura da placa, o coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base e pela presença de acostamento de concreto ou não. Para determinar os valores de Tensão equivalente foi através de interpolação utilizando a tabela abaixo do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005).

Com a determinação da espessura da placa de concreto e o valor do coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base considerado 173 Mpa/m, foram encontrados os seguintes valores:

- Tensão equivalente eixo simples = 1,024 Mpa
- Tensão equivalente eixo tandem duplo = 0,844 Mpa
- Tensão equivalente eixo tandem triplo = 0,627 Mpa

Tabela 19 - Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa)
(Pavimento Sem Acostamento de Concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		180	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89	1,01	0,83
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,80
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81	0,90	0,76
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78	0,86	0,73
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72	0,78	0,66
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005)

Tabela 20 - Tensão Equivalente para Eixos Triplos (MPa)
(Pavimento Sem Acostamento de Concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,60	2,30	2,20	2,14	2,08	2,07
13	2,35	2,04	1,93	1,87	1,80	1,78
14	2,15	1,83	1,72	1,65	1,58	1,55
15	1,99	1,67	1,55	1,48	1,40	1,37
16	1,85	1,54	1,41	1,34	1,25	1,23
17	1,73	1,43	1,30	1,23	1,14	1,11
18	1,62	1,34	1,21	1,14	1,04	1,01
19	1,53	1,26	1,13	1,06	0,96	0,92
20	1,45	1,19	1,07	0,99	0,89	0,85
21	1,37	1,13	1,01	0,93	0,83	0,79
22	1,30	1,07	0,95	0,88	0,78	0,74
23	1,24	1,02	0,91	0,84	0,73	0,70
24	1,18	0,97	0,87	0,80	0,69	0,66
25	1,13	0,93	0,83	0,76	0,66	0,62
26	1,07	0,89	0,79	0,73	0,63	0,59
27	1,02	0,86	0,76	0,70	0,60	0,57
28	0,98	0,82	0,73	0,67	0,58	0,54
29	0,93	0,79	0,71	0,65	0,55	0,52
30	0,89	0,76	0,68	0,63	0,53	0,50
31	0,85	0,73	0,66	0,60	0,51	0,48
32	0,81	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46
33	0,77	0,68	0,61	0,56	0,48	0,45
34	0,73	0,65	0,59	0,55	0,46	0,43

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005)

O próximo passo é a determinação do fator de erosão. O fator de erosão varia de acordo com a espessura da placa, o coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base, pela presença de acostamento de concreto ou não e pela presença de barras de transferência nas juntas transversais ou não. Para determinar os valores de Fator de Erosão foi através de interpolação, encontrando os valores nas tabelas abaixo, conforme tabela do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005)

Com a determinação da espessura da placa de concreto e o valor do coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base considerado 173 Mpa/m, foram encontrados os seguintes valores:

- Fator de erosão para eixo simples = 2,691 Mpa
- Fator de erosão para eixo tandem duplo = 2,802 Mpa
- Fator de Erosão para eixo tandem triplo = 2,837 Mpa

Tabela 21 - Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos
(Junta Sem Barras de Transferência e Pavimento Sem Acostamento de Concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	2,72	3,82	3,69	3,74	3,67	3,69	3,65	3,67	3,64	3,65	3,63	3,61	3,59	3,58
13	3,62	3,75	3,59	3,66	3,57	3,61	3,55	3,59	3,54	3,57	3,52	3,52	3,49	3,49
14	3,53	3,68	3,50	3,59	3,48	3,53	3,46	3,51	3,45	3,49	3,43	3,44	3,40	3,41
15	3,45	3,61	3,41	3,52	3,39	3,46	3,37	3,44	3,36	3,42	3,34	3,37	3,31	3,34
16	3,37	3,55	3,33	3,46	3,31	3,40	3,29	3,37	3,28	3,35	3,26	3,30	3,23	3,26
17	3,30	3,50	3,26	3,40	3,23	3,34	3,21	3,31	3,20	3,29	3,18	3,23	3,16	3,20
18	3,23	3,44	3,18	3,34	3,16	3,28	3,14	3,25	3,13	3,23	3,11	3,17	3,09	3,13
19	3,17	3,39	3,12	3,29	3,09	3,23	3,07	3,19	3,06	3,17	3,04	3,11	3,02	3,07
20	3,11	3,35	3,05	3,24	3,03	3,17	3,01	3,14	3,00	3,12	2,98	3,05	2,96	3,02
21	3,05	3,30	2,99	3,19	2,97	3,13	2,95	3,09	2,94	3,07	2,92	3,00	2,90	2,96
22	3,00	3,26	2,94	3,15	2,91	3,08	2,89	3,04	2,88	3,02	2,86	2,85	2,84	2,91
23	2,94	3,22	2,88	3,11	2,85	3,03	2,83	2,99	2,82	2,97	2,80	2,90	2,78	2,86
24	2,90	3,18	2,84	3,07	2,80	2,99	2,78	2,95	2,77	2,93	2,75	2,86	2,73	2,82
25	2,86	3,14	2,78	3,03	2,76	2,96	2,73	2,91	2,72	2,89	2,70	2,82	2,68	2,78
26	2,81	3,11	2,75	2,99	2,71	2,92	2,69	2,88	2,68	2,86	2,65	2,71	2,63	2,74
27	2,77	3,08	2,70	2,96	2,67	2,89	2,64	2,84	2,63	2,82	2,61	2,75	2,59	2,71
28	2,73	3,05	2,66	2,93	2,62	2,85	2,60	2,81	2,59	2,79	2,56	2,71	2,54	2,67
29	2,70	3,02	2,62	2,90	2,58	2,82	2,56	2,78	2,55	2,75	2,52	2,68	2,50	2,64
30	2,66	2,99	2,59	2,86	2,54	2,79	2,51	2,75	2,50	2,72	2,48	2,64	2,46	2,60
31	2,63	2,96	2,55	2,83	2,50	2,76	2,48	2,72	2,47	2,69	2,44	2,61	2,42	2,57
32	2,59	2,93	2,51	2,81	2,47	2,73	2,44	2,69	2,43	2,66	2,40	2,58	2,38	2,54
33	2,56	2,90	2,48	2,78	2,43	2,70	2,40	2,66	2,39	2,63	2,36	2,55	2,34	2,51
34	2,53	2,88	2,45	2,75	2,40	2,67	2,37	2,63	2,36	2,60	2,32	2,52	2,30	2,48

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005)

Tabela 22 - Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos
(Junta Sem Barras de Transferência e Pavimento Sem Acostamento de Concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,85	3,75	3,70	3,66	3,57	3,53
13	3,77	3,68	3,62	3,58	3,50	3,45
14	3,70	3,60	3,55	3,51	3,42	3,38
15	3,64	3,54	3,48	3,44	3,36	3,32
16	3,58	3,47	3,42	3,38	3,29	3,25
17	3,52	3,42	3,36	3,32	3,23	3,19
18	3,47	3,36	3,30	3,26	3,18	3,14
19	3,42	3,31	3,25	3,21	3,13	3,09
20	3,37	3,26	3,20	3,16	3,08	3,04
21	3,33	3,22	3,16	3,11	3,03	2,99
22	3,29	3,18	3,11	3,07	2,99	2,95
23	3,25	3,13	3,07	3,03	2,94	2,91
24	3,21	3,10	3,03	2,99	2,90	2,86
25	3,17	3,06	2,99	2,95	2,87	2,83
26	3,14	3,02	2,96	2,91	2,83	2,79
27	3,10	2,99	2,92	2,88	2,79	2,75
28	3,07	2,96	2,89	2,85	2,76	2,72
29	3,04	2,92	2,86	2,81	2,73	2,69
30	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65
31	2,98	2,87	2,80	2,75	2,66	2,62
32	2,96	2,84	2,77	2,72	2,63	2,59
33	2,93	2,81	2,74	2,70	2,61	2,57
34	2,91	2,81	2,72	2,67	2,58	2,54

ETT: Eixos Tandem Triplos

ETT: Eixos Tandem Triplos

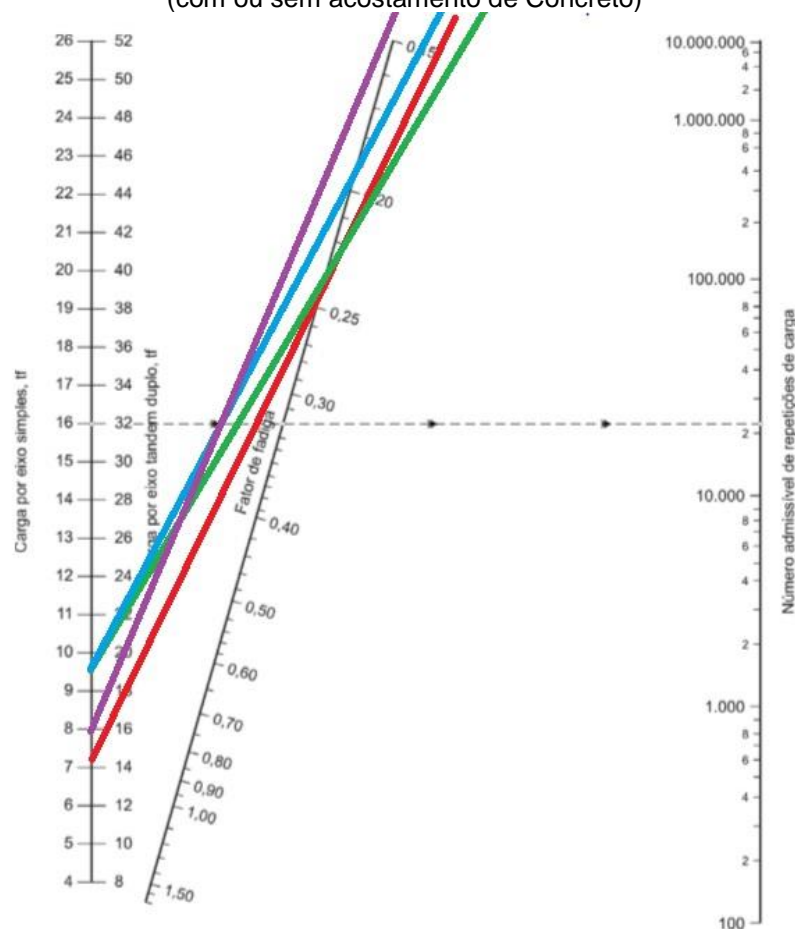
Fonte: DNIT (2005)

Logo após a determinação desses fatores, foi calculado o fator de fadiga através do quociente entre a tensão equivalente determinada para cada tipo de eixo e a resistência de ruptura de tração do concreto aos 28 dias. Foram encontrados os seguintes valores:

- Fator de fadiga para eixo simples = 0,228 Mpa
- Fator de fadiga para eixo tandem duplo = 0,188 Mpa
- Fator de fadiga para eixo tandem triplo = 0,139 Mpa

O passo seguinte é a verificação do número de repetições admissíveis para cada carga de eixo. Com os valores de carga de cada eixo corrigida pelo fator de carga, e o fator de fadiga para cada tipo de eixo, foi verificado através do ábaco do Manual de Pavimentação Rígida do DNIT (2005), com base no valor de consumo da fadiga foi determinado o número repetições permissíveis.

Figura 11 - Análise de Fadiga - Número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de Concreto)

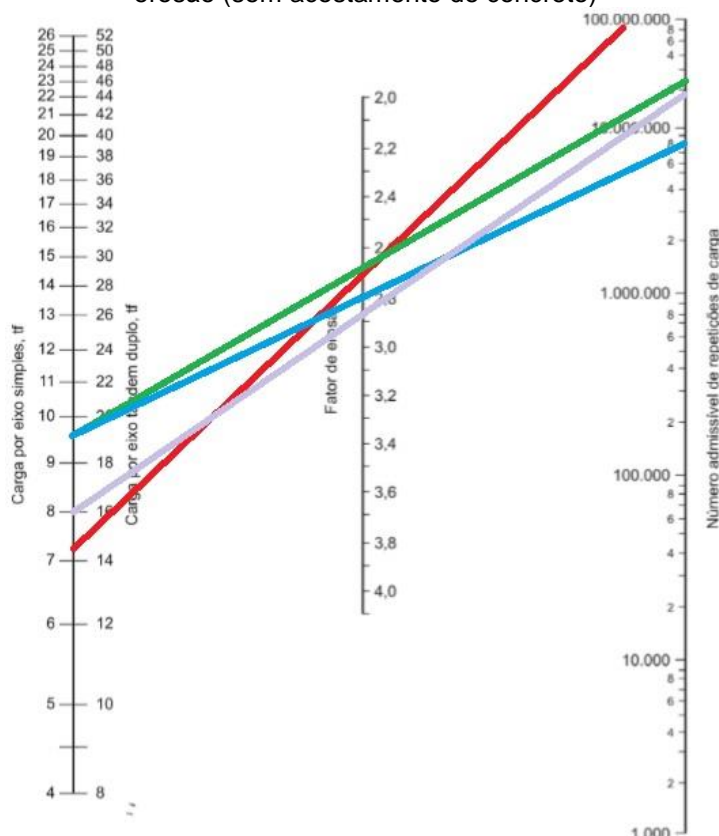


Fonte: DNIT (2005)

Através do fator de fadiga com relação à carga de cada classe de eixo, foi possível encontrar os valores de repetições admissíveis para cada classe de carga de eixo. Para um pavimento eficiente, buscou-se aproximar a soma dos valores de consumo de fadiga de cada classe de carga de eixo, mais próximo possível de 100%, pois isso indica que o pavimento dimensionado irá resistir às solicitações de cargas do tráfego e não ficará superdimensionado, pois tornaria a estrutura muito onerosa. Com o dimensionamento foi encontrado a soma total dos consumos por meio da fadiga igual à zero por cento, ou seja, durante o período de projeto o consumo à fadiga será ilimitado.

Logo após a verificação quanto à fadiga, foi realizado um processo similar para análise de erosão. Através dos valores de cargas de cada eixo e pelos fatores de erosão definidos, foi determinado o consumo à erosão no pavimento. Verificou-se através do ábaco do Manual de Pavimentação Rígida do DNIT (2005), com base no valor de consumo da erosão foi determinado o número repetições permissíveis.

Figura 12 - Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)

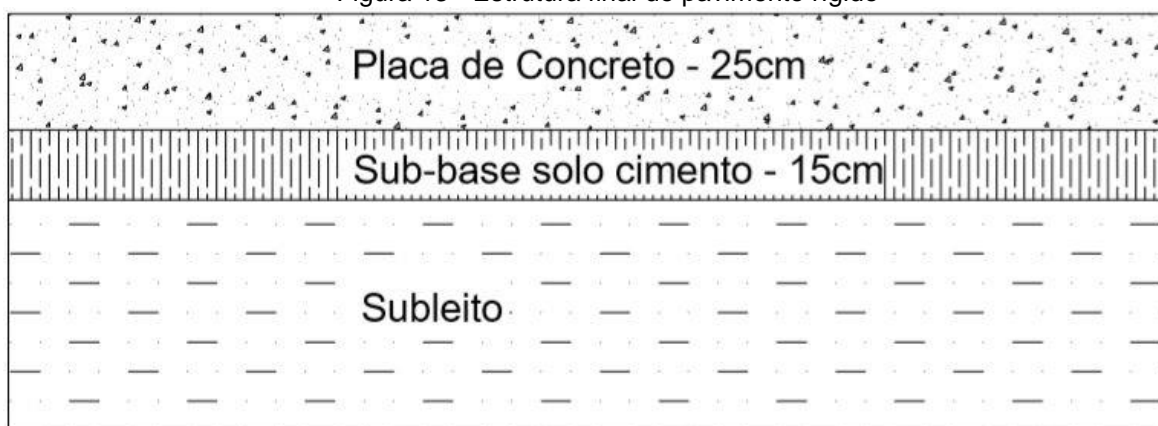


Fonte: DNIT (2005)

Com o dimensionamento foi encontrado a soma total dos consumos por meio da erosão igual a 70,13%.

Desta forma a estrutura do pavimento foi dimensionada, verificada e as condições estabelecidas para o dimensionamento foram satisfatória. O pavimento rígido será composto pela camada de subleito, sub-base granular e placa de concreto, conforme perfil abaixo:

Figura 13 - Estrutura final do pavimento rígido



Fonte: Autor (2019)

4.3 LEVANTAMENTO DE CUSTO DE INSUMOS

A ação de pavimentar se tratar de obras de infraestrutura, logo gera grandes impactos aos cofres públicos, sendo assim a viabilidade ou não da ação de pavimentação, como por exemplo, de um corredor de veículos comerciais ou ônibus, sendo assim a solução deve-se pautar nos fatores principais como custo, durabilidade da solução empregada e impactos gerados.

Para levantamento de custos dos insumos, como principal instrumento foi utilizado as tabelas de custos do SICRO, atribuídas ao DNIT para embasar custos de obras rodoviárias em todas as regiões do Brasil. Foi utilizado os seguintes dados para levantamento dos custos:

- Local da via: Palmas – TO;
- Foram estipulados custos relativos somente a etapa de pavimentação da via;
- Data base utilizada: Tabela SICRO – Tocantins/2019 - Janeiro.
- Somente insumos.
- Quantidade para 01(um) m².

Tabela 23 – Insumos do pavimento flexível

		Material	Unidade	Custo Unitário (R\$)
S/ COMP	Sub-base (20 cm)	Solo	m³	-
S/COMP	Sub-base (15 cm)	Solo	m³	-
S/ COMP	Base (20 cm)	Solo	m³	-
S/ COMP	Água (Ref. Base, Sub-base)	Água	L	-
SINAPI - 41901	Imprimação	CM 30	kg	3,20
SINAPI - 41905	Pintura de Ligação	RR 1C	kg	1,44
SINAPI - 41899	CBUQ (5 cm)	CAP 50/70	kg	1,983
SICRO - M005		Brita	m³	117,93
SICRO - M1383		Areia	m³	53,78
SICRO - M0222		Filler	kg	0,18
SICRO - M614	Concreto fctk 4,5 Mpa	Concreto	m³	500,00
SICRO - M0424	Placa de Concreto (25 cm)	Cimento	kg	0,4647
SICRO - M0191		Brita	m³	116,18
SICRO - M0028		Areia	m³	47,89

Fonte: Autor (2019)

4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PAVIMENTOS DIMENSIONADOS ATRAVÉS DOS MÉTODOS DNER E PCA 1984.

4.4.1 Custo De Implantação

Entre o setembro de 2017 e fevereiro de 2019, o valor do asfalto teve um aumento de 108% no Brasil. Devido a alto preço do material betuminoso reflete na qualidade das rodovias.

Tabela 24 - CAP x Cimento

R\$ / Kg (Média Brasil)	2008	2018	Variação %
CAP (fonte ANP)	0,968	1,654	+ 200%
CIMENTO (fonte CBIC)	0,382	0,431	12,83 %

ABCP (2019)

4.4.2 Custo de Manutenção

Pavimento Flexível:

A base de cálculo de manutenção e restauração do pavimento flexível será a seguinte:

- Manutenção rotineira a cada ano (tapa buraco)

Geralmente esse tipo de manutenção acontece todo ano nas rodovias do Brasil, gerando alto custo com manutenção ao longo de sua vida útil, a área em média para execução de remendo é 2% (dois por cento) da via a cada ano, segundo ABCP (2019).

- Restauração total do pavimento a cada 5 anos.

A restauração total do pavimento corresponde a fresagem de toda a área do pavimento e recomposição das camadas conforme estrutura original, elas ocorrem geralmente a cada 05(cinco) anos.

Pavimento Rígido:

A base de cálculo de manutenção e restauração do pavimento flexível será a seguinte:

- Manutenção rotineira de 5 em 5 anos.

A manutenção rotineira é a somente recuperação de placas trincadas e placas quebradas que geralmente é em torno de apenas 3% (três por cento) da área total da via a cada 5 anos, segundo a ABCP (2019).

- Restauração total do pavimento a cada 20 anos.

A restauração total do pavimento corresponde a fresagem de toda a área do pavimento e recomposição das camadas conforme estrutura original, elas ocorrem geralmente a cada 20(vinte) anos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO TRECHO DA AVENIDA LO-12

Foi realizado visitas no campo de estudo e coletado as coordenadas do trecho de estudo da Avenida LO-12, que situa-se entre a Rodovia TO-050 e a Avenida NS-3, Latitude: $10^{\circ}10'20.65''\text{S}$ e Longitude: $48^{\circ}18'3.33''\text{O}$ (TO-050) e Latitude: $10^{\circ}9'38.51''\text{S}$ e Longitude: $48^{\circ}20'16.42''\text{O}$ (AV. NS-3), respectivamente.

5.2 OBTENÇÃO DOS ENSAIOS E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os dados geotécnicos foram solicitados junto a Secretaria de Infraestrutura do município de Palmas, através de uma solicitação formal, os dados fornecidos foram da Avenida NS-15, como é próximo da Avenida LO-12, foram utilizados os dados no dimensionamento das estruturas dos pavimentos.

O levantamento de tráfego foi realizado pelo Departamento de Estradas de Rodagens do Tocantins – DERTINS, no ano de 2004. E utilizado uma taxa de crescimento anual de 2,5% ao ano.

As informações geotécnicas foram realizadas por uma empresa contratada pela prefeitura do município para realizarem todas as sondagens e ensaios necessários de acordo com as Normas técnicas vigentes. Foram repassados os ensaios em laboratório de granulometria, Compactação, Índice de Suporte Califórnia e Expansão.

Entre os ensaios mais importantes utilizados no dimensionamento foi o ensaio de CBR médio do subleito que pelo resultado dos ensaios foi igual à 13,98, porem para efeito de cálculos nesse estudo foi adotado o CBR médio do sub-leito 13,50.

5.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DNER DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

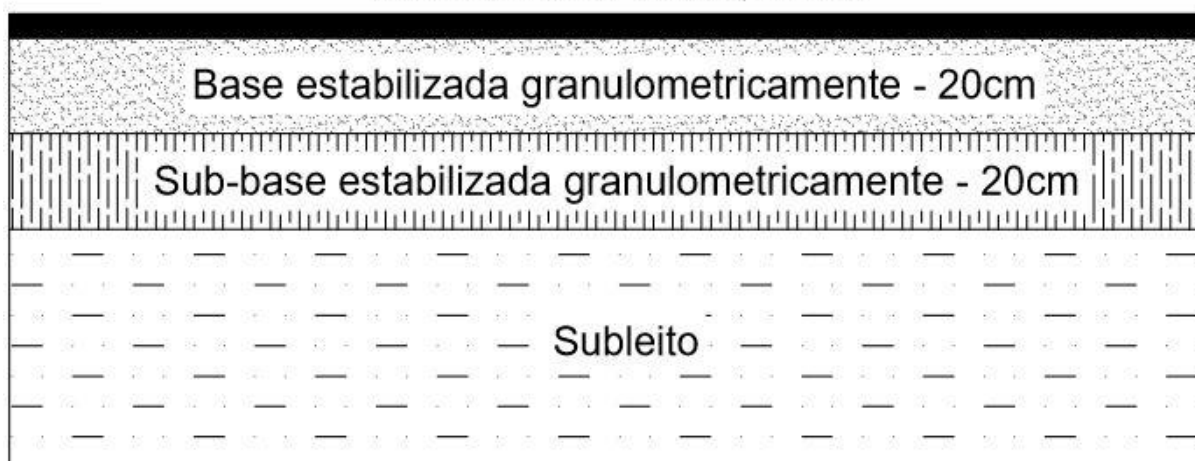
Para dimensionamento do pavimento flexível, conforme já citado, foi aplicado o método do DNER, que tem origem nos Estados Unidos, foi desenvolvido pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza, principalmente, no ano de 1966, e atualizado

por eles em 1981, foi embasado nas metodologias da USACE e da AASHTO da época de 1962.

O método embasado no número N de operações do eixo padrão, e no CBR do material das camadas de sub-base e base. E para determinar o número N é preciso determinar o número de tráfego médio, período de projeto e os fatores: FC, FE e FR.

Seguindo o método do DNER, conforme o Manual de Pavimentação Flexível do DNIT (2006), foi dimensionado e concluiu-se no perfil abaixo:

Tabela 25 - Perfil estrutural do pavimento flexível
Revestimento CBUQ - 5cm



Fonte: Autor (2019)

Um pavimento estrutural, revestimento CBUQ de 5 cm, uma Base estabilizada granulometricamente de 20cm, e uma Sub-base estabilizada granulométricamente de 20 cm, além do subleito, conforme figura acima.

5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PCA 84 DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO

Para dimensionamento do pavimento rígido, conforme expresso anteriormente, foi aplicado o método do PCA 84, tem por fundamento a teoria de Westergaard, e considera a resistência a tração na flexão para dimensionamento da espessura da placa de concreto. Foi desenvolvido por G. Pickett com base nos

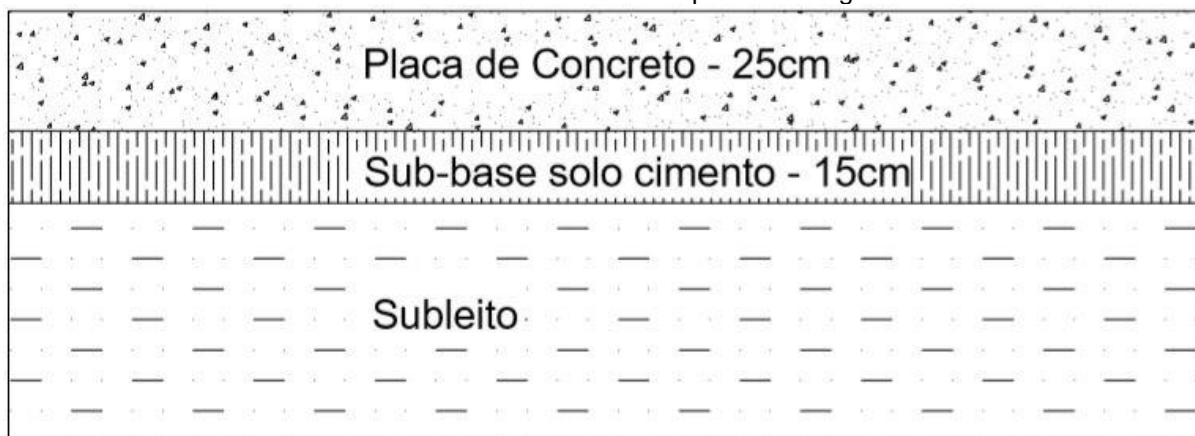
fundamentos de Westergaad, e o calculo é realizado em função do consumo da resistência à fadiga, durante o período de projeto, devido o volume do trafego.

O método também considera o consumo à erosão ocasionado principalmente nas bordas das placas de concreto, tendo que levar em consideração outros parâmetros como o de haver ou não acostamento de placa de concreto, pois isso vai influencia nos resultados.

A espessura da placa é calculada por tentativa, com base nos parâmetros de Tensão equivalente, Fator de Erosão e o Fator de Fadiga que é resultado da divisão da Tensão equivalente pelo coeficiente de recalque no topo da camada de sub-base. A soma total do consumo de fadiga e erosão de cada eixo por tipo de classe e carga, tais somas não podendo ser superiores a 100%.

Seguindo o método do DNER, conforme o Manual de Pavimentação Rígida do DNIT (2005), foi dimensionado e concluiu-se no perfil abaixo:

Tabela 26 - Perfil estrutural do pavimento rígido



Fonte: Autor (2019)

Um pavimento estrutural, com placa de concreto de 25 cm, uma Sub-base solo cimento de 15 cm, além do subleito, conforme figura acima.

5.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS DOIS MÉTODOS

Foi feito um levantamento de custo de insumos de cada 1m² de pavimento, utilizado a tabela do SICRO 2 e SINAPI base de jan/2019, para ser possível avaliar o

custo de implantação em relação aos insumos de cada tipo de pavimento dimensionado neste estudo acadêmico. Abaixo tabelas de valores para comparativo:

Tabela 27 - Custo dos Insumos do Pavimento Flexível

		Material	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)
S/ COMP	Sub-base (20 cm)	Solo	m³	0,20	-
S/ COMP	Base (20 cm)	Solo	m³	0,20	-
S/ COMP	Água (Ref. Base, Sub-base)	Água	L	-	-
SINAPI - 41901	Imprimação	CM - 30	kg	1,2	3,84
SINAPI - 41905	Pintura de Ligação	RR - 1C	kg	0,4	0,58
SINAPI - 41899	CBUQ (5 cm)	CAP 50/70	kg	7,20	14,28
SICRO - M005		Brita	m³	0,028	3,30
SICRO - M1383		Areia	m³	0,0175	0,94
SICRO - M0222		Filler	kg	0,0015	0,027
TOTAL					22,97

Fonte: Autor (2019)

Tabela 28 - Custo dos Insumos do Pavimento Rígido

		Material	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)
S/ COMP	Sub-base (15 cm)	Solo	m³	0,135	-
SICRO - M0424		Cimento	kg	21,3	9,90
S/ COMP	Água (Ref. Sub-base)	Água	L	-	-
SICRO - M614	Concreto fctk 4,5 Mpa	Concreto	m³	0,25	125,00
SICRO - M0424	Placa de Concreto (25 cm)	Cimento	kg	121,75	56,58
SICRO - M0191		Brita	m³	0,1275	14,81
SICRO - M0028		Areia	m³	0,1575	7,54
TOTAL	Custo Concreto local				88,83
	Custo concreto usinado				125,00

Fonte: Autor (2019)

Tabela 29 - Composição do traço do CBUQ

TRAÇO DO CBUQ			DENSIDADE
Faixa "C" Capa de Rolamento	Imprimação	Pintura de Ligação	
Brita = 56%	CM-30 = 1,2 l/m²	RR-1C = 0,4 l/m²	Brita Solta = 1,5 t/m³
Areia = 35%			Areia Solta = 1,5 t/m³
Filler = 3,0%			Solo "in natura" = 1,60 t/m³
Ligante (CAP 50/70) = 6,0%			CBUQ FxC = 2,40 t/m³

Fonte: Autor (2019)

Tabela 30 - dimensionamento de consumo do material

Material	CONSUMO POR m ³				CONSUMO POR t			
	Und.	Quantidade	Und.	Quantidade	Und.	Quantidade	Und.	Quantidade
Brita = 56%	m ³	$(0,56 \times 2,4) / 1,5 = 0,896$	t	$0,560 \times 2,40 = 1,344$	m ³	$0,560 / 1,5 = 0,3733$	t	0,560
Areia = 35%	m ³	$(0,35 \times 2,4) / 1,5 = 0,560$	t	$0,350 \times 2,40 = 0,840$	m ³	$0,350 / 1,5 = 0,2333$	t	0,350
Filler = 3,0%			t	$0,030 \times 2,40 = 0,072$			t	0,030
Ligante (CAP 50/70) = 6,0%			t	$0,060 \times 2,40 = 0,144$			t	0,060
TOTAL			t	2,40				1,000

Fonte: Autor (2019)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pavimento tem como objetivo básico fornecer uma estrutura suficiente capaz de suportar esforços gerados pelo tráfego de veículos sobre a via e garantir que os veículos circulem com conforto e segurança, esses aspectos devem ser associado a um menor custo e impacto possível.

Devido grande número de veículos comerciais que trafegam na Avenida LO – 12, no perímetro urbano do município de Palmas, o pavimento existente há muitas manifestações patológicas, pois o mesmo não foi projetado para o uso atual. Com isso a via vêm passando por constantes manutenções.

Apesar de no Brasil se ter a predominância de projetar a pavimentação flexível, em vez da pavimentação rígida, será que estão levando em consideração as características locais de cada obra?

Por isso este trabalho com objetivo básico de projetar um pavimento estrutural para a tal via, considerando dois métodos diferentes, apresentando as principais características de cada metodologia, para embasar com informações técnicas e teóricas sobre o tipo de pavimento será adotado para solução do problema.

O trabalho visou o detalhamento das principais características de cada metodologia empregada, tais características como: camadas existentes em cada estrutura, materiais utilizados em cada método, modo de transmissão de cargas dos eixos dos veículos, e os modelos de dimensionamento. Foram consultados normas e livros para buscar dados imparciais para comparação entre os tipos de pavimentos, como os parâmetros de segurança, durabilidade, e quanto ao fator de sustentabilidade, que são parâmetros importantes para a decisão de viabilidade técnica de implantação de qualquer obra de engenharia nos dias de hoje.

Quanto a escolha do pavimento a ser implantado deve ser levado em consideração dados de durabilidade, custos totais de implantação e manutenção, e as características da via, pois esses aspectos são essenciais para se ter vias de qualidade e com isso elevar o desenvolvimento econômico da região.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentos Rígidos. IPR – 714**. Brasília: DNIT, 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Estudos de Trafego. IPR – 723**. Brasília: DNIT, 2006

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito. **Relatórios estatísticos de frotas de veículos**. Brasília: DENATRAN, 2019.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª, ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

DNER. **Manual de Pavimentação**. 3.ed. Pulb. 719. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

NBR 9603. **Sondagem a Trado**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

NBR 6457. **Amostra de solos – Preparação para Ensaios de Caracterização e Compactação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

NBR 7181. **Solo – Analise Granulométrica – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

NBR 6459. **Solo – Determinação do Limite de Liquidez– Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

NBR 7180. **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade– Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

NBR 7182. **Solo – Ensaio de Compactação– Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

NBR 9895. **Solo – Índice Suporte California – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ORTIGÃO, J.A.R. **Mecânica do Solos Estados Críticos**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

PCA. *Portland Cement Association*. **Manual de Pavimento Rígido**. PCA: 1984.

SENÇO, Wlastemiler. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1v. São Paulo: PINI, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Sistema de custos rodoviários – SICRO Tocantins**. DNIT, 2019. Disponível em < <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/norte/tocantins/2019/janeiro/janeiro-2019>

Documentos candidatos

blog.truckpad.com.br... [0,28%]

blog.cargobr.com/eix... [0,12%]

carrodegaram.com/e... [0,11%]

dnit.gov.br/custos-e... [0,11%]

tandem-schools.com/b... [0,1%]

dnit.gov.br/custos-e... [0,08%]

dnit.gov.br/custos-e... [0,07%]

techtudo.com.br/dica... [0,04%]

tandem.net/pt-br [0%]

techtudo.com.br/tudo... [0%]

Arquivo de entrada: TCC II - Flávio Entrega Final-corrigo.pdf (8835 termos)

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
blog.truckpad.com.br... (https://blog.truckpad.com.br/transporte-rodoviario/conheca-a-tabela-de-capacidade-de-carga-de-caminhoes-dnit-e-antt/)	Visualizar	1486	29	0,28
blog.cargobr.com/eix... (https://blog.cargobr.com/eixo/)	Visualizar	893	12	0,12
carrodegaram.com/e... (https://www.carrodegaram.com/entenda-eixo-duplo-simples-rodagem-dupla-outros-caminhoes/)	Visualizar	661	11	0,11
dnit.gov.br/custos-e... (http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-1)	Visualizar	577	11	0,11
tandem-schools.com/b... (https://www.tandem-schools.com/br/intercambio-idomas/)	Visualizar	936	10	0,1
dnit.gov.br/custos-e... (http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro-2)	Visualizar	299	8	0,08
dnit.gov.br/custos-e... (http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/manuais-de-custos-de-infraestrutura-de-transportes/manuais-de-custos-de-infraestrutura-de-transportes)	Visualizar	335	7	0,07
techtudo.com.br/dica... (http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2016/12/como-usar-o-app-tandem-para-aprender-ingles-de-um-jeito-divertido.html)	Visualizar	1078	4	0,04
tandem.net/pt-br (https://www.tandem.net/pt-br)	Visualizar	135	0	0
techtudo.com.br/tudo... (http://www.techtudo.com.br/tudo-sobre/tandem.html)	Visualizar	1470	1	0