



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - IFTO
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

OLON SILVA DE LIMA

**ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM
ESTUDO DE CASO NA RODOVIA TO-050 TRECHO PALMAS - PORTO
NACIONAL**

PALMAS

2021



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - IFTO
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

SOLON SILVA DE LIMA

**ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM
ESTUDO DE CASO NA RODOVIA TO-050 TRECHO PALMAS - PORTO
NACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de bacharel em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof^a. Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro

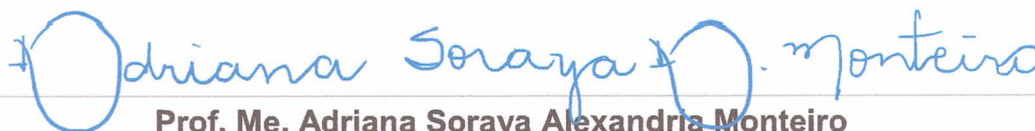
**Palmas, TO
2021**

Solon Silva de Lima

Análise de dimensionamento empírico de pavimento flexível: um estudo de caso na
Rodovia TO-050 trecho Palmas - Porto Nacional

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título de
bacharel em Engenharia Civil do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas.

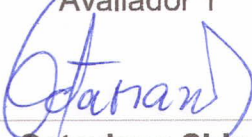
Trabalho aprovado, Palmas, TO 23 de abril de 2021.



Prof. Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro
Orientadora



Prof. Especialista Marcos Coelho Milhomen
Avaliador 1



Prof. Me. Octaviano Sidnei Furtado
Avaliador 2

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

L732a Lima, Solon Silva

ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO DE
PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM ESTUDO DE CASO NA
RODOVIA TO-050 TRECHO PALMAS - PORTO
NACIONAL / Solon Silva Lima. – Palmas, TO, 2021.
90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em
Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas,
Palmas, TO, 2021.

Orientadora: Ma. Adriana Soraya Alexandria Monteiro

1. Método Empírico.. 2. Rodovia TO-050, Tráfego.. 3.
Dimensionamento, Palmas, Porto Nacional.. I.
Alexandria Monteiro, Adriana Soraya. II. Título.

CDD624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus pela vida e saúde.

Agradeço a minha mãe Belirdes, minha irmã Barbara, minha irmã Adarth, minha esposa Jaciane e minha filha Sophia pelo carinho, cuidado e apoio durante toda a minha vida.

Agradeço aos meus amigos de curso que compartilharam suas lutas diárias comigo durante toda esta jornada.

Agradeço à minha professora orientadora pela paciência e compromisso comigo por tornar este trabalho possível.

Agradeço à minha banca examinadora pelas ideias e sugestões ao longo deste trabalho.

Agradeço à equipe que me ajudou diretamente na realização dos ensaios.

Obrigado!

EPÍGRAFE

A persistência é o menor caminho do êxito
(Charles Chaplin)

RESUMO

LIMA, S. S. ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM ESTUDO DE CASO NA RODOVIA TO-050 TRECHO PALMAS - PORTO NACIONAL: 2021. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

Atualmente no Brasil a maioria dos projetos de pavimentação são executados através do método Empírico do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). No método empírico, são utilizados dois principais parâmetros para a determinação das espessuras das camadas constituintes do pavimento, o primeiro deles é conhecido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), que é definido como a razão entre a resistência de determinado solo em relação a um material britado de referência, e o segundo parâmetro é o Número (N) que é definido como o número de operações de um eixo tomado como padrão de 8,2 t. durante o período de projeto. A Rodovia TO-050, também conhecida como Rodovia Coluna Prestes, sofreu ao longo dos anos um aumento substancial no volume de tráfego devido a interdição da ponte de Porto Nacional e também por ser um dos principais acessos à BR-153. Diante da problemática do aumento do tráfego na Rodovia TO-050 e o consequente surgimento de patologias decorrentes das mudanças de peso e volume de tráfego, este trabalho visou abordar, através da metodologia de dimensionamento empírica, ou metodologia de dimensionamento do DNER, a realização do redimensionamento desse trecho da rodovia para a sua readequação estrutural, de modo a suportar as novas demandas e atender a uma nova vida útil de projeto.

Palavras-chave: Método Empírico, Rodovia TO-050, Tráfego, Dimensionamento, Palmas, Porto Nacional.

ABSTRACT

LIMA, S. S. FLEXIBLE PAVEMENT EMPIRICAL DIMENSIONING ANALYSIS: A CASE STUDY ON THE TO-050 STRETCH PALMAS – PORTO NACIONAL: 2021. 89 f. Course Completion Work (Graduation) – Civil Engineering. Federal Institute of Education Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2021.

Currently in Brazil most paving projects are executed through the Empirical method of the National Department of Highways (DNER). In the empirical method, two main parameters are used for the determination of the thicknesses of the constituent layers of the pavement, the first of which is known as the California Support Index (ISC), which is defined as the ratio between the resistance of a given soil in relation to a reference crushed material, and the second parameter is the Number (N) which is defined as the number of operations of an axis taken as the standard of 8.2 t. during the design period. The TO-050 Highway, also known as The Column Prestes Highway, has suffered a substantial increase in traffic volume over the years due to the interdiction of the Porto Nacional bridge and also because it is one of the main access to the BR-153. Given the problem of increased traffic on the TO-050 Highway and the consequent emergence of pathologies resulting from changes in traffic weight and volume, this work aimed to address, through the methodology of empirical dimensioning, or sizing methodology of the DNER, the realization of the resizing of this stretch of highway for its structural readjustment, in order to support the new demands and meet a new project life.

Keywords: Empirical Method, Highway TO-050, Traffic, Sizing, Palmas, Porto Nacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura de Pavimento Flexível	19
Figura 2. Distribuição dos Esforços no Pavimento	19
Figura 3. Degradação do tipo rodeira	22
Figura 4. Degradação do tipo pele de crocodilo	23
Figura 5. Degradação do tipo pelada	24
Figura 6. Degradação por exsudação	25
Figura 7. Trinca tipo couro de jacaré	27
Figura 8. Ábaco para cálculo da espessura do pavimento segundo o método do DNER.	30
Figura 9. Conceito de facilidade de manutenção	32
Figura 10. Composição do tráfego	35
Figura 11. Brita graduada simples.....	36
Figura 12. Solo Argiloso Fino Laterítico.	37
Figura 13. Solo Cimento.....	38
Figura 14. Compactação de corpos-de-prova	39
Figura 15. Imersão dos corpos-de-prova em água para medida de expansão axial .	40
Figura 16. Ensaio penetrométrico	40
Figura 17. Localização da área da pesquisa	43
Figura 18. Trecho de 59 km entre a TO-050 e Porto Nacional – TO.....	44
Figura 19. Volume diário médio de veículos na rodovia TO-050.....	47
Figura 20. Localização das janelas de inspeção	48
Figura 21. Realização da inspeção na camada de TSD	49
Figura 22. Chegada da equipe para realização dos ensaios in situ	49
Figura 23. Amostra 01 referente a coleta de material do subleito	50
Figura 24. Realização do ensaio de granulometria por peneiramento a seco	50
Figura 25. Análise granulométrica da base da amostra 01	51
Figura 26. Análise granulométrica da sub-base da amostra 01	51
Figura 27. Análise granulométrica do subleito da amostra 01.....	51
Figura 28. Análise granulométrica da base da amostra 02	52
Figura 29. Análise granulométrica da sub-base da amostra 02	52
Figura 30. Análise granulométrica do subleito da amostra 02.....	52

Figura 31. Realização do ensaio de Casagrande para a determinação do limite de liquidez	53
Figura 32. Ensaio de limite de plasticidade	54
Figura 33. Gráfico do limite de liquidez da amostra 01	55
Figura 34. Gráfico do limite de liquidez da amostra 02	55
Figura 35. Ensaio da massa específica in situ com emprego do frasco de areia	56
Figura 36. Ensaio de umidade natural com auxílio do speedy test	58
Figura 37. Ensaio de compactação normal de Proctor.....	59
Figura 38. Ensaio de expansibilidade.....	60
Figura 39. Ensaio de CBR.....	61
Figura 40. Diferenciação das camadas do pavimento flexível da TO - 050	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Famílias e tipos de degradações.....	23
Tabela 2. Ensaios a serem realizados	46
Tabela 3. Resumo das janelas de inspeção.....	48
Tabela 4. Resumo dos ensaios de análise granulométrica por peneiramento	53
Tabela 5. Limite de liquidez e plasticidade do subleito da amostra 01.....	54
Tabela 6. Limite de liquidez e plasticidade do subleito da amostra 02.....	54
Tabela 7. Massa específica da base da amostra 01	56
Tabela 8. Massa específica da sub-base da amostra 01	56
Tabela 9. Massa específica do subleito da amostra 01.....	56
Tabela 10. Massa específica da base da amostra 02	57
Tabela 11. Massa específica da sub-base da amostra 02	57
Tabela 12. Massa específica do subleito da amostra 02.....	57
Tabela 13. Resultados do ensaio de umidade natural com auxílio do speedy test ...	58
Tabela 14. Resumo do ensaio de compactação do solo.....	59
Tabela 15. Resumo dos ensaios de expansão e CBR	61
Tabela 16. Frequência diária de veículos segundo a classificação do DNIT	62
Tabela 17. Fator de carga em função da carga por eixo	63
Tabela 18. Determinação da espessura mínima de revestimento betuminoso	64
Tabela 19. Média dos ensaios de CBR	65
Tabela 20. Coeficientes de equivalência estrutural	66
Tabela 21. Resumo do dimensionamento pelo método DNER	67
Tabela 22. Ensaio de compactação da amostra 01 - subleito.....	78
Tabela 23. Ensaio de compactação da amostra 01 - sub-base.....	79
Tabela 24. Ensaio de compactação da amostra 01 - base	80
Tabela 25. Ensaio de compactação da amostra 02 - subleito	81
Tabela 26. Ensaio de compactação da amostra 02 - sub-base.....	82
Tabela 27. Ensaio de compactação da amostra 02 - base	83
Tabela 28. Ensaio de CBR e expansão da amostra 01 - subleito	84
Tabela 29. Ensaio de CBR e expansão da amostra 01 - sub-base.....	85
Tabela 30. Ensaio de CBR e expansão da amostra 01 - base.....	86
Tabela 31. Ensaio de CBR e expansão da amostra 02 - subleito	87
Tabela 32. Ensaio de CBR e expansão da amostra 02 - sub-base.....	88

Tabela 33. Ensaio de CBR e expansão da amostra 02 - base.....89

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BGS - Brita Graduada Simples

CBR - Califórnia Bearing Ratio

DNIT - Departamento Nacional Infraestrutura e Suporte

DNER - Departamento Nacional de Estrada e Rodagem

ISC - Índice de Suporte Califórnia

IFTO - Instituto Federal do Tocantins

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MR - Módulo de Resiliência

N - Número

P - Índice de Penetração do Ligante

RBV - Relação Betume Vazios

T - Teores de asfalto

TO - Tocantins

UFRGS - Universidade Federal Rio Grande do Sul

USACE - Corpo de Engenheiros do Exército Americano

V - Volume de Vazios

VMD - Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
3	JUSTIFICATIVA	17
4	OBJETIVOS	18
4.1	Objetivo geral	18
4.2	Objetivos específicos	18
5	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
5.1	Estrutura de pavimento asfáltico flexível	18
5.2	Mecanismos de degradação estrutural de pavimentos flexíveis	21
5.3	Deformações permanentes	25
5.4	Fadiga.....	26
5.5	Métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis	27
5.5.1	Método empírico	28
5.5.2	Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT	28
5.5.3	Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis AASHTO.....	31
5.6	Vida útil de um pavimento	33
5.7	Dados do tráfego e número “N”	34
5.8	Propriedades dos materiais de base, sub-base e reforço do subleito.....	35
5.8.1	Brita graduada simples	35
5.8.2	Solo argiloso fino laterítico	36
5.8.3	Solo cimento	37
5.9	Parâmetros de deformabilidade dos materiais usuais de pavimentação	38
5.9.1	Índice de suporte Califórnia	38
5.9.2	Módulo de resiliência	41
6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	43
6.1	Localização da área de estudo	43
6.2	Coleta dos dados de tráfego	45
6.3	Realização dos ensaios de pavimentação	45
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
7.1	Coleta dos dados de tráfego.....	47
7.2	Ensaio necessários à aplicação do método empírico	48

7.2.1	Análise granulométrica por peneiramento	50
7.2.2	Limite de liquidez e plasticidade.....	53
7.2.3	Massa específica <i>in situ</i> com frasco de areia.....	55
7.2.4	Umidade natural com <i>speedy test</i>	57
7.2.5	Compactação.....	58
7.2.6	CBR e expansão	60
7.3	Dimensionamento segundo o método empírico do DNIT	62
7.3.1	Cálculo do número “N”	62
7.3.2	Dimensionamento segundo o método empírico do DNIT.....	65
8	CONCLUSÕES	69
9	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICE A	78
	APÊNDICE B	84

1 INTRODUÇÃO

A TO-050, também chamada de Rodovia Coluna Prestes, é uma rodovia estadual radial e tem uma extensão de 437 km dimensionada no ano de 1990. Tem início no município de Palmas – TO e seu fim na Ponte do Rio Bezerra no município de Arraias – TO na divisa com o estado de Goiás, sendo hoje uma das principais vias de acesso para o escoamento de grãos até o pátio de integração da Ferrovia Norte-Sul, é também um dos acessos à BR-153.

Com a interdição da ponte de Porto Nacional no primeiro semestre de 2019 devido ao surgimento de problemas estruturais e o aumento do fluxo de veículos em decorrência do surgimento de indústrias e centros de distribuição, a TO-050 se tornou a válvula de escape de todo tráfego de veículos pesados que antes passavam pela ponte e seguiam até a BR-153 e em direção ao pátio da Ferrovia Norte-Sul, sendo estabelecido uma nova rota: Porto Nacional – Palmas. Diante disso, foi apresentado o estudo de dimensionamento através do método empírico para o referido trecho, avaliando os danos causados à estrutura do pavimento devido a aplicação de cargas elevadas ou mesmo devido ao grande número de repetições de passagem das rodas dos veículos, observando o atendimento quanto às novas solicitações de carga.

No decorrer deste trabalho foi estudado a capacidade de carga do referido trecho da rodovia seguindo a metodologia empírica, ou metodologia do DNER para pavimentos flexíveis, fazendo um novo levantamento de tráfego visando a obtenção do Volume Diário Médio (VDM), pois com o crescimento do tráfego, aumentou também o número de veículos de carga devido a interdição da ponte de Porto Nacional – TO. Para tanto, foram executados pontos de amostragem e realizados ensaios de pavimentação necessários à realização do método empírico. Os resultados obtidos demonstram a necessidade de uma readequação da via em função do não atendimento da demanda de carga atual.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Com instalações de grandes empresas (indústrias e centro de distribuição), gerou aumento do tráfego, as características dos veículos mudaram, com isso foram surgindo patologias e desgastes prematuro do pavimento. Sendo assim, diante das novas demandas de carga sobre a rodovia, como está o pavimento atualmente segundo o método empírico de dimensionamento para pavimentos flexíveis?

3 JUSTIFICATIVA

O adequado dimensionamento de um pavimento é de suma importância na determinação do seu comportamento durante sua vida útil, ao receber as cargas advindas do tráfego e suportar os efeitos do clima em sua superfície (MORAIS, 2014).

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis de 1966 é, até os dias atuais, o mais adotado no Brasil. Sua adoção se dá principalmente pelo fato de que esta metodologia trata de maneira generalista e simplificada algumas situações específicas no que diz respeito a parametrização de variáveis. Além disso, a sua bateria de ensaios, quando comparados a outras metodologias, ocorrem de maneira mais rápida e simplista (COUTINHO, 2011).

Deste modo, como grandes órgãos rodoviários no País utilizam procedimentos elaborados pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza (método DNER), e critério básico de ruptura adotado é por cisalhamento do subleito e camada granular, que tem causado o aparecimento de sulcos nas trilhas de rodas (deformação permanente) ou ruptura plástica no subleito, remetida a fadiga dos materiais causados pela solicitação contínua do tráfego, o presente trabalho visou o redimensionamento da estrutura do pavimento de modo a combater ou minimizar essas deformações.

Bonfim (2001) comenta que com a idade avançada da maior parte das rodovias brasileiras em conjunto com o constante aumento de solicitações impostas aos pavimentos, seja pelo crescimento do número de veículos da frota nacional e/ou pelo excesso de peso por eixo, têm levado a um processo de deterioração acelerado dos pavimentos flexíveis nas diversas rodovias nacionais, incluindo o trecho da TO-050, que foi o objeto de estudo para o presente trabalho.

Em decorrência de limitações financeiras, de deslocamento e de interação devido à pandemia da Covid-19 este trabalho de conclusão de curso passou a abordar apenas a utilização do método empírico do DNIT/DNER para redimensionar o trecho da Rodovia TO-050 e não mais a comparação do método empírico com o método mecanístico, como proposto inicialmente no TCC I, e todas as dificuldades encontradas justificam o uso tão abrangente do método do DNER, dado o custo benefício em questão, aliado a extensa malha viária do Brasil.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Analisar o dimensionamento pelo método empírico do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) de um trecho da Rodovia TO-050 que liga Palmas – Porto Nacional, e com base nos resultados, apresentar as readequações das camadas que compõem o pavimento asfáltico em adequação às novas solicitações de volume de tráfego.

4.2 Objetivos específicos

1. Apresentar a metodologia de cálculo utilizada para dimensionamento do pavimento flexível;
2. Realizar ensaios de pavimentação *in situ* e ensaios de laboratório;
3. Realizar o estudo de tráfego para obtenção do número “N”;
4. Realizar o dimensionamento do pavimento flexível pelo método do DNER/DNIT;

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Estrutura de pavimento asfáltico flexível

De acordo com Bernucci et al. (2008), a pavimentação constitui-se da construção de múltiplas camadas sobre a terraplanagem devidamente finalizada. Tem como função resistir os esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, proporcionar conforto e segurança aos usuários.

Os pavimentos asfálticos classificam tradicionalmente em dois tipos: rígidos e flexíveis.

A concepção de um pavimento flexível, como apresentado na Figura 1 abaixo, pressupõe a construção de camada de revestimento asfáltico assentada sobre base, sub-base e reforço do subleito, apresentando em sua composição materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes. Pode-se suprimir uma ou mais camadas integrantes da estrutura dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e espessura das

camadas, e condições ambientais (BERNUCCI et al., 2008; MEDINA & MOTTA, 2005).

Na NBR 7207 (1982) a estrutura do pavimento é definida como uma estrutura constituída sobre a terraplenagem e destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais, melhorar as condições de rolamento e resistir aos esforços horizontais.

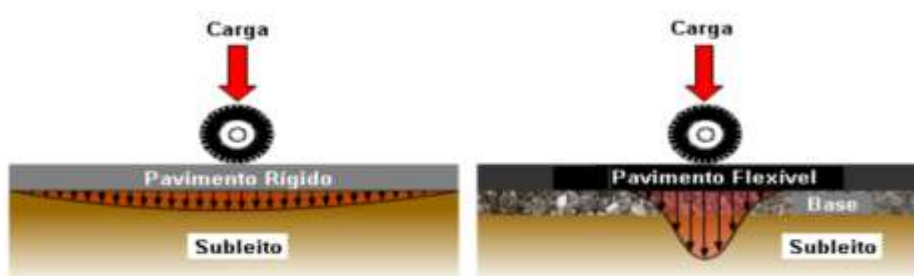
Figura 1. Estrutura de Pavimento Flexível



Fonte: Bernucci et al (2008, p.338)

Para Balbo (2007) a estrutura do pavimento é formada por camadas de diferentes tipos de materiais compactados partindo do subleito, atendendo estruturalmente e operacionalmente o tráfego, de forma durável e com menor custo, levando em consideração os serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação. O pavimento asfáltico é formado por cinco camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço do subleito e subleito (BERNUCCI, 2008), no pavimento flexível as tensões provenientes do tráfego agem de forma concentrada nas proximidades da aplicação destas cargas, diferente dos pavimentos rígidos, onde as tensões são uniformemente distribuídas em toda a placa de cimento, diminuindo a pressão sobre o subleito, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Distribuição dos Esforços no Pavimento



Fonte: Imagem extraída do site da Turma de Edificações 13

No entendimento de Bernucci et al. (2008), enquanto o revestimento asfáltico é submetido a esforços de tração e compressão devidos a flexão, as camadas subjacentes ficam sujeitas principalmente à compressão. Por meio da combinação de materiais e espessura das camadas constituintes, as tensões provindas do tráfego serão distribuídas entre as camadas conforme as camadas granulares.

O dimensionamento do pavimento leva em conta o tráfego atual com previsão de crescimento futuro, além da influência climática, deve conhecer as propriedades dos materiais, sua resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade, devido à repetição de cargas. No qual deve estar compatibilizada as tensões e deslocamentos solicitantes com as propriedades dos materiais e espessuras da camada (MEDINA e MOTTA, 2005).

As propriedades e características dos materiais estão diretamente relacionadas com a resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade da estrutura do pavimento, juntamente com a repetição de cargas e efeito do clima. Os principais danos considerados em uma estrutura de pavimento são a deformação permanente e a fadiga (BERNUCCI et al., 2008; HARTMANN, 2009).

Conforme DNIT (2006) e Balbo (2007), as camadas constituintes da estrutura do pavimento são definidas da seguinte maneira:

- **Revestimento:** É a camada que recebe diretamente a ação do tráfego, tem objetivo de melhorar as condições de rolamento oferecendo aos usuários conforto e segurança, além de transmitir os esforços proveniente do tráfego para as camadas subjacentes e resistir aos fatores climáticos em que estará sujeito, impedindo com que o mesmo seja transferido para o restante do pavimento.
- **Base:** Camada situada logo a baixo do revestimento, é responsável por resistir e distribuir os esforços solicitados pelo tráfego, sua capacidade estrutural está relacionada a resistência e rigidez dos materiais utilizados em sua constituição.
- **Sub-base:** É a camada complementar à base, executada quando for conveniente reduzir a espessura da primeira por razões de ordem econômica. Tem função de complemento da base, portanto tem a função de resistir e distribuir os esforços provenientes da ação do tráfego. Além disso, tem a função de drenar infiltração e controlar a ascensão capilar da água.

- **Reforço do subleito:** Geralmente, é executado no caso de estruturas espessas, devido à função de baixa qualidade ou tráfego muito pesado, trata-se de uma camada de espessura constante sobre o subleito regularizado. Deve ser utilizado um solo com resistência maior que a do subleito e inferior ao material que vier na camada superior.
- **Subleito:** É o terreno de fundação em que se apoia o pavimento. É a camada responsável por absorver os esforços causados pelo tráfego e é constituída de material natural consolidado e compactado.

5.2 Mecanismos de degradação estrutural de pavimentos flexíveis

Ao longo do tempo os pavimentos rodoviários flexíveis em serviço desenvolvem degradações que contribuem para uma diminuição da qualidade estrutural e funcional do pavimento. Essas degradações são originadas pelas ações do tráfego e das condições climáticas, as quais atuando sobre um pavimento com determinadas características mecânicas e geométricas trazem solicitações no pavimento que alteram suas características iniciais. (CASTRO,2000).

A sucessiva repetição destas condições origina degradações do pavimento. Esta atividade conhecida de “princípio da cadeia de consequências” produz uma atividade em ciclo onde uma degradação resultando contribui para a evolução de outra degradação (FRANCISCO, 2012).

São considerados dois grupos de fatores que influenciam a degradação dos pavimentos: os fatores passivos e os fatores ativos. Os primeiros dependem do pavimento, nomeadamente das espessuras, do material e da qualidade de construção. Já os fatores ativos dependem das ações do tráfego e do clima e são os principais responsáveis pelas degradações dos pavimentos (PEREIRA & MIRANDA, 1999).

Existem quatro famílias de degradações para os pavimentos flexíveis: deformações, fendilhamento, desagregação da camada de desgaste e movimento de materiais (PEREIRA & MIRANDA, 1999).

As deformações têm em geral como causa principal um comportamento anormal das diferentes camadas do pavimento e do solo de fundação (PEREIRA & MIRANDA, 1999). Assim, a deficiente capacidade de suporte do solo de fundação, a compacidade insuficiente das camadas estruturais do pavimento, assim como, as

más condições de drenagem são as principais causas de desenvolvimento das deformações.

Os tipos de degradações mais frequentes na família das deformações permanentes são os cavados de rodeira, que consistem na deformação permanente do pavimento na zona de passagem dos rodados dos veículos, conforme pode ser visualizado na Figura 3 abaixo. (MINHOTO, 2005).

Figura 3. Degradação do tipo rodeira



Fonte: Francisco (2012, p.30)

O fendilhamento é a família de degradações mais frequente nos pavimentos flexíveis, e resulta principalmente da fadiga dos materiais das camadas betuminosas, devido à repetição dos esforços de tração por flexão destas camadas (BRANCO et al, 2008) e, em algumas condições devido às concentrações de tensões provocadas pela ação térmica (MINHOTO, 2005). A Tabela 1 abaixo traz o resumo das famílias de degradações existentes e seus respectivos tipos.

Tabela 1. Famílias e tipos de degradações

Famílias de Degradações		Tipos de degradações	
Deformações	Abatimento	Longitudinal	Berma Eixo
	Deformações localizadas	Transversal	
	Ondulação		
	Rodeiras inferiores	Grande raio Pequeno raio	
Fendilhamento	Fendas	Fadigas	
		Longitudinais	Berma Eixo
		Transversais	
		Parabólicas	
Desagregação da camada de desgaste	Pele de crocodilo	Malha fina Malha grossa	
	Desagregação superficial		
	Cabeça de gato		
	Pelada		
Movimento de materiais	Ninhos (covais)		
	Exsudação		
	Subida de finos		

Fonte: Adaptado de Francisco (2012, p.31)

Ainda conforme (MINHOTO, 2005), o tipo de degradação mais importante na família do fendilhamento é a pele de crocodilo, pois, resulta, quase sempre, do desenvolvimento de diferentes estados de uma ou várias fendas ramificadas. A Figura 4 abaixo mostra esse tipo de degradação comumente encontrado em rodovias.

Figura 4. Degradação do tipo pele de crocodilo



Fonte: Francisco (2012, p.32)

Quando um pavimento apresenta uma fenda ramifica em estado avançado, aumenta a probabilidade da entrada de água no pavimento e, também, aumenta a severidade da ação do tráfego e, assim, a degradação do pavimento é acelerada.

A desagregação da camada de desgaste tem como principais causas a

deficiente qualidade dos materiais das camadas superiores, assim como, a falta de estabilidade entre os materiais que constituem a mistura betuminosa. Este tipo de degradação também pode estar associado a uma deficiente formulação da mistura betuminosa. Veja a seguir a ilustração abaixo uma degradação tipo resultante do desprendimento de uma placa da camada de desgaste, designada de pelada (BRANCO et al, 2008). A Figura 5 abaixo traz a degradação do tipo pelada.

Figura 5. Degradação do tipo pelada



Fonte: Francisco (2012, p.32)

O movimento de materiais está normalmente associado a problemas de drenagem e das camadas betuminosas fendilhadas. Os tipos de degradações associadas à família do movimento de materiais são: subida de finos e exsudação.

A subida de finos ocorre em pavimentos com problemas de drenagem e com excesso de água nas camadas que constituem o pavimento. Devido a solicitação do tráfego, esses pavimentos são sujeitos uma pressão de compressão e a água tende a atravessar as camadas e transportar os materiais mais finos para a superfície, originando a subida de finos.

Por outro lado, as ações climáticas desfavoráveis juntamente com uma deficiente formulação da camada de desgaste podem originar o aparecimento de exsudações devido à migração para a superfície de um excesso de ligante. A Figura 6 abaixo indica o tipo de degradação por exsudação.

Figura 6. Degradação por exsudação



Fonte: Francisco (2012, p.32)

5.3 Deformações permanentes

Há vários autores que identificaram a deformação permanente, também conhecida como afundamento da trilha de roda, sendo um dos principais mecanismos de ruptura de pavimentos que deve ser considerado no dimensionamento da estrutura. (MOTTA, 1991; HUANG, 1993; AYRES, 1997; MEDINA, 1997; FRANCO, 2000,).

Segundo MOTTA (1991) esclarece que no Brasil foi comprovado que o efeito da deformação plástica não é relevante nas estradas federais, não aparecendo como causa principal da deterioração dos pavimentos, devendo-se isso em parte aos critérios de dimensionamento do método CBR saturado e também em baixas unidades de equilíbrio que predominaram nas camadas dos pavimentos brasileiros.

Para LEKART et al (2000) a restrição do desenvolvimento da deformação plástica na estrutura é um dos principais aspectos na filosofia do dimensionamento de pavimento asfáltico. Apesar de medir no campo o afundamento de trilha de roda seja uma tarefa simples, a sua presciência é bastante complexa. O problema não se limita apenas na caracterização dos materiais, mas sim na avaliação do impacto nas condições ambientais e do cálculo das tensões apropriadas durante toda a vida de serviço do pavimento.

A causa da ocorrência da deformação permanente é devida a ação das cargas do tráfego sobre a superfície dos pavimentos que gera uma deformação total na estrutura.

Esse tipo de deformação é composto pelas parcelas: deformação resiliente ou reversível e deformação permanente ou plástica. Todas as camadas do pavimento contribuem com alguma parcela para a deformação permanente total da estrutura. Para estimar-se a profundidade dos afundamentos de trilha de roda, é necessário se conhecer o mecanismo de deformação de cada um dos materiais componentes das camadas do pavimento. (MOTTA, 1991; HUANG, 1993).

Portanto, o modo de proceder utilizados para moldar os corpos de prova para a realização de ensaios triaxiais influenciam sobretudo os parâmetros dos modelos de previsão do afundamento de trilha de roda. Estas influências, unidas à incerteza na previsão do tráfego e das condições climáticas, tornam muito difícil a estimativa da deformação permanente, justificando a utilização de modelos mais simplificados (HUANG, 1993; FRANCO, 2000).

Ainda LEKARP et al. (2000) listam diversos fatores que influenciam materiais granulares a deformação permanente, tais como: o estado de tensões; o número de aplicações de carga; a umidade do material; a história de tensões; o tipo de agregado e sua granulometria. O modelo mais comum para previsão de deformação permanente encontrado em diversas fontes (SVENSON, 1980; CARDOSO, 1987; MOTTA, 1991; MEDINA, 1997; SANTOS, 1998; FRANCO, 2000; LEKEARP et al. 2000) relaciona o número de repetições de carga com a deformação específica permanentemente.

5.4 Fadiga

Quando um caminhão passa sobre uma rodovia, as camadas do pavimento ficam submetidas a um estado variável de tensões que se caracteriza por ser dinâmico e repetitivo ao longo da vida útil da rodovia. As principais solicitações a que um pavimento está submetido durante a passagem das cargas de tráfego, são representadas pelas deformações de tração (σ_t) nas camadas asfálticas e pela tensão de compressão (σ_z) na camada final de terraplenagem (PINTO, 1991).

Devido ao grau de intensidade de repetições destas solicitações e com passar do tempo desenvolvem-se patologias na estrutura do pavimento notadamente na camada de revestimento asfáltico (PINTO, 1991).

As principais patologias que ocorrem nas camadas asfálticas de pavimentos brasileiros são: a deformação permanente que tem como efeito a manifestação de

trilha de roda e a fadiga responsável pelo trincamento da mistura asfáltica que resulta o surgimento de buracos e panelas (PINTO, 1991).

A fadiga é descrita como um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado de tensões e de extensões repetidas, surgindo assim fissuras no material que evoluem para trincas ou ruptura completa, após um número suficiente de repetições de carregamento, ou seja, a deterioração do material quando solicitado repetidamente por um carregamento. (PINTO, 1991).

A primeira fase do início dessa ruptura é qualificada pelo aparecimento de trincas longitudinais isoladas e logo depois a união de trincas transversais e longitudinais forma um reticulado conhecido no meio rodoviário como “couro do jacaré”. Esse estágio ainda se tem certa transferência de tensões entre as interfaces das trincas. (PINTO, 1991). A Figura 7 abaixo mostra a trinca do tipo couro de jacaré.

Figura 7. Trinca tipo couro de jacaré



Fonte: Biblioteca do Asfalto (FONTES, 2012, p.4)

Portanto, com contínua ação do tráfego e com presença de águas nas trincas tem-se a erosão dos bordos das placas e com essa erosão as placas ficam sem confinamento sendo facilmente arrancadas pela ação do tráfego. (PINTO, 1991).

5.5 Métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis

Os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis são divididos em dois grupos: Empíricos e Mecanísticos. A seguir dois métodos empíricos serão tratados individualmente, expondo-se as vantagens e desvantagens impostas por cada um deles. (COUTINHO, 2011).

A concepção dos métodos de projeto existentes foi, geralmente, obtida de duas maneiras distintas. A primeira leva em consideração o desempenho ao longo do tempo das estruturas de pavimento, por meio de experiências “in loco” (modelos empíricos), a segunda baseia-se na teoria elástica considerada adequada para a interpretação do fenômeno (modelos racionais). Acrescenta-se também, métodos que utilizam uma associação de modelos empíricos com os modelos racionais (SENÇO 2007; HARTMANN, 2009).

5.5.1 Método empírico

As vantagens apresentadas pelos métodos empíricos resumem-se ao fato de que os ensaios de caracterização necessários são de fácil execução e não exigem equipamentos sofisticados. Some-se a isto, o aspecto de que em pavimentos que exibem as mesmas condições apresentadas pelos trechos experimentais, aos quais os métodos empíricos foram fundamentados, a reprodução de desempenho se apresenta em verdadeira grandeza (BEZERRA, 2004; HARTMANN, 2009).

Entretanto o método demonstra algumas limitações, restritas a várias sazonalidades caracterizadas pelos materiais de construção, clima da região e condições de tráfego, não permitindo uma generalização mais ampla para tais condições de contorno. (Entretanto, é um método bastante limitado pelas condições de contorno (materiais de construção, clima da região e condições de tráfego etc.) não permitindo uma generalização adequada para outras regiões e diferentes cargas de tráfego). Além disso, tem baixa precisão matemática, não possibilitando a análise de tensões e deformações da estrutura do pavimento (BASTOS; HOLANDA; BARROSO, 2013).

5.5.2 Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT

Baseando-se em Motta (1991) e Coutinho (2011), o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT, considerado o mais utilizado no Brasil, será comentado brevemente na sequência.

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, elaborado pelo Eng. Murillo Lopes de Souza, em 1966, foi uma adaptação dos conceitos adquiridos em testes de campo e em pistas experimentais do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) e da AASHO/AASHTO. Este método determina a

espessura do pavimento capaz de proteger o subleito quanto à ruptura por cisalhamento ou por acúmulo de deformações permanentes ou plásticas.

O Eng. Murillo Lopes de Souza, retirou do trabalho “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, cuja autoria é de Turnbull et al. (1962), gráficos para o dimensionamento de pavimentos e a determinação das equivalências de operação entre as diferentes cargas por eixo e a carga por eixo padrão.

A partir das conclusões das pistas da AASHTO, atribuiu-se aos materiais utilizados nos pavimentos coeficientes de equivalência estrutural e também fatores climáticos regionais. Salienta-se que os valores de equivalência estrutural foram reduzidos em relação aos da AASHTO para obter-se maior segurança no dimensionamento dos pavimentos. Os itens a seguir mencionados alicerçam a metodologia do DNER de 1966:

- Capacidade de suporte do subleito;
- Classificação dos materiais granulares empregados no pavimento;
- Análise do tráfego;
- Coeficiente estrutural;
- Espessura mínima do revestimento.

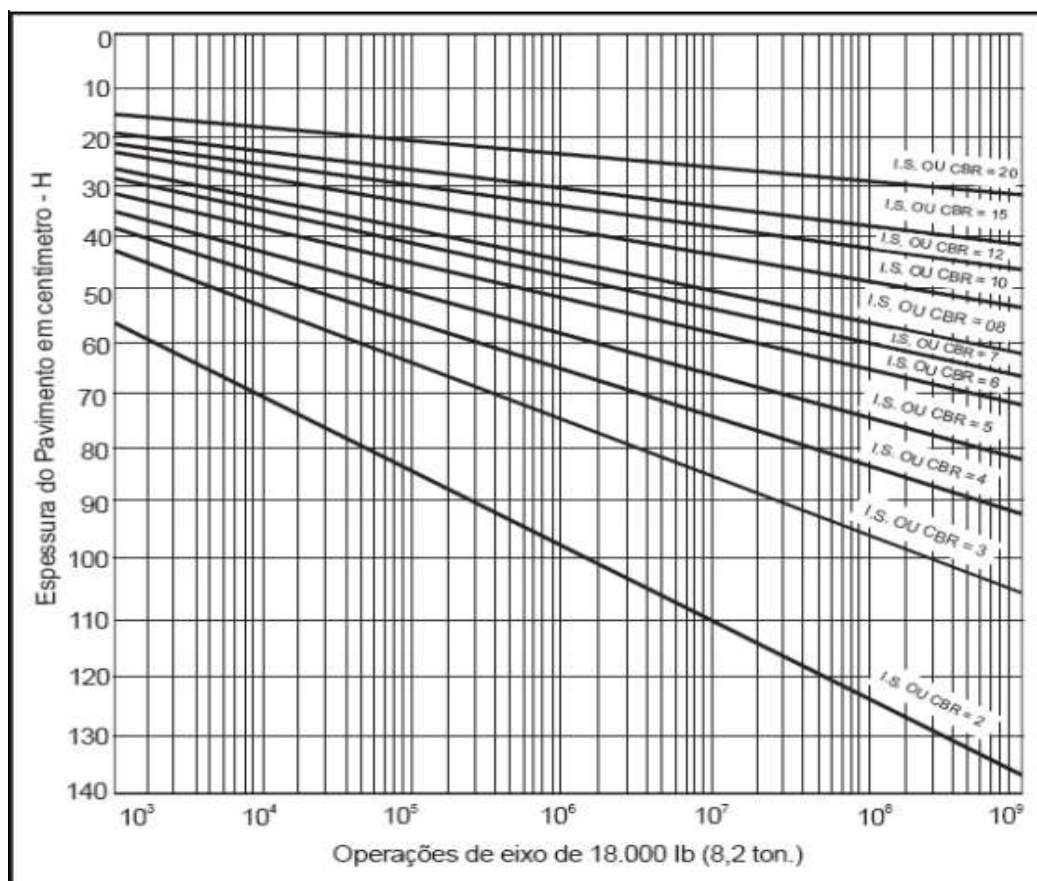
Todavia, mesmo estes parâmetros sendo bem abrangentes, a forma de determinação dos mesmos não permite que tenhamos uma segurança do ponto de vista funcional da estrutura do pavimento. A determinação do suporte do subleito por meio do ensaio Califórnia Bearing Ratio (CBR), ou Índice de Suporte Califórnia (ISC) em tradução para o português, (ABNT NBR 9895), não representa em laboratório as solicitações a que o material estará exposto em campo.

Outro item que merece destaque é a forma de considerar o tráfego na rodovia. Os métodos empíricos consideram como se na rodovia existisse apenas um tipo de carregamento, e os carregamentos que não fazem parte do carregamento padrão são transformados em um número de solicitações de carregamento do eixo padrão “número N”, nessa transformação temos um grande erro embutido, visto que existem diversos fatores que podem não ser considerados, como por exemplo, a pressão de inflação do pneu.

De acordo com Motta (1991), o ábaco mostrado na Figura 3, estabelece uma relação entre a porcentagem de espessura e o logaritmo do número de coberturas, para a obtenção do gráfico de dimensionamento. Este último correlaciona o número

total de passagens do eixo padrão, após todas as conversões dos eixos que solicitam o pavimento em determinado período de projeto, com o valor do ISC. A Figura 8 abaixo mostra o ábaco para o cálculo da espessura do pavimento, utilizando o método do DNER.

Figura 8. Ábaco para cálculo da espessura do pavimento segundo o método do DNER.



Fonte: Greco (2012, p.5)

Motta (1991) relata ainda que, recomenda-se a desconsideração do fator climático durante o dimensionamento do pavimento. Tal fato justificar-se-ia pela saturação do ISC durante quatro dias. Porém, outras bibliografias incorporam o fator climático no dimensionamento porque consideram a saturação do ISC muito conservadora e não condizente com as condições climáticas e hidrológicas brasileiras.

Entretanto, deve-se ter uma maior atenção com esse viés, em razão do volume das precipitações pluviométricas da atualidade que extrapolam os valores conhecidos até então, tendo os colapsos dos aterros de várias rodovias.

O método do Engenheiro Murillo Lopes de Souza, na concepção de Motta

(1991), é tido como demasiadamente excedido em termos de segurança estrutural do pavimento, pois as espessuras são majoradas no que concerne à redução do CBR e número N na magnitude de 20%.

5.5.3 Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis AASHTO

O método de dimensionamento da AASHTO-93 corresponde a um método empírico de pavimentos estruturais, criada em 1961 e atualizada nos anos de 1986 e 1993. A nível internacional, o método AASHTO-93 é amplamente difundido e utilizado em diversos países (Abaza & Abu-Eisheh, 2003).

Conhecido por ser um processo iterativo que define o valor do Número Estrutural requerido para uma determinada condição de trânsito, a capacidade estrutural do sub-grau e operacionalidade inicial e final pré-estabelecidas. A aplicação do método de dimensionamento fornece o valor do número de eixos equivalentes a 80 kN que irão suportar a estrutura até que esta atinja uma condição de deterioração, que representa o valor máximo de deterioração que requer sua reconstrução para um determinado Número Estrutural (NE) e Módulo de resiliência do subleito (MR) (MORENO, 2014).

Os dados de entrada deste método de dimensionamento se classificam em variáveis e parâmetros. As variáveis se definem a partir de análises estatísticas sobre as informações coletadas *in situ*. Os parâmetros são valores recomendados pelo manual da AASHTO e são definidos de acordo com os critérios de desenho estabelecidos. Tanto os dados de entrada, como os de saída são definidos de maneira determinística (MORENO, 2014).

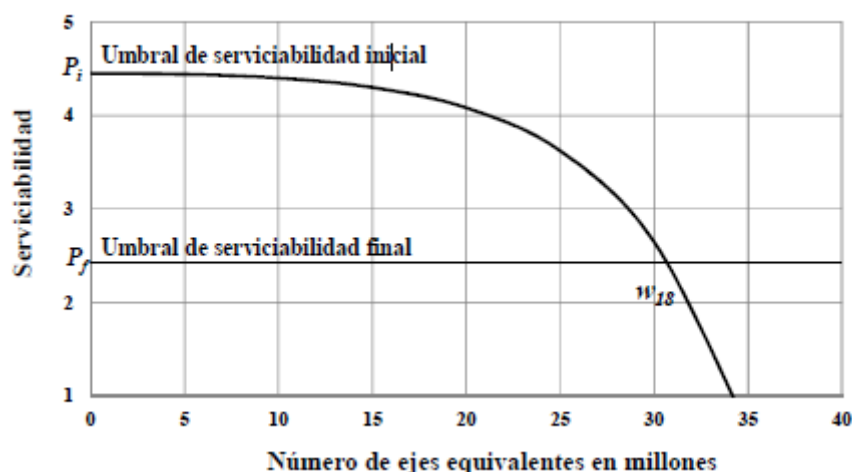
O método AASHTO-93 por sua vez protege o projeto da variabilidade dos dados de entrada através da utilização de alguns parâmetros específicos como: M_R – Módulo de Resiliência; Z_R Nível de Confiabilidade, S_o – Desvio padrão. Entretanto, o projeto não fica protegido da variação das condições climáticas durante a operação ou de atividades como planejamento, construção, operação e manutenção (MORENO, 2014).

Ainda segundo Moreno (2014), A facilidade de manutenção, que foi inicialmente conhecida por ser um produto do teste da AASHO, é hoje definida pela AASHTO-93 como a capacidade de uma seção específica de pavimento de suportar o tráfego de veículos sob o estado ou condição real, sendo uma medida de

qualidade do serviço oferecido por um pavimento.

A Figura 9 abaixo traz a forma geral de um gráfico de facilidade de manutenção, no qual se indica a forma como o pavimento perde suas características a medida que se passam cargas veiculares.

Figura 9. Conceito de facilidade de manutenção



Fonte: Moreno (2013)

Outro ponto de destaque para este método de dimensionamento de pavimentos flexíveis é o chamado conceito de confiabilidade. Segundo AASHTO (1993), uma forma de definir a confiabilidade é como “a probabilidade de que o número de repetições de carga aplicadas sobre o pavimento não ultrapasse o número de repetições de carga que podem suportar, até atingir um nível de manutenção especificado mínimo”.

Portanto, a partir da definição de confiabilidade desenvolvem-se as seguintes definições:

- Trânsito real do período de projeto (NT): é o tráfego que realmente passará pelo pavimento e cujo índice de manutenção (PSI) se estenderá além da operacionalidade final (P_f);
- Previsão de trânsito do período de projeto (wT): corresponde à previsão de NT , definido por dados de tráfego, carga e fatores de equivalência;
- Desempenho real do pavimento durante o período de projeto (N_f): pode ser calculado como a área entre a curva de manutenção e o eixo ordenado correspondente para a manutenção final especificada ou como o número de

eixos equivalentes que foram realmente desgastados pelo pavimento até o valor de capacidade de manutenção final especificada;

- Previsão do desempenho do pavimento durante o período de projeto (W_i): corresponde à previsão de N_i , que é calculada por meio da equação de projeto;
- Período de projeto: corresponde ao número de eixos equivalentes de 80 kN que vão desde a operacionalidade inicial (P_i), até atingir a operacionalidade final (P_f) especificado.

O guia AASHTO (1986), descreve as seguintes vantagens de se utilizar um método mecanístico no dimensionamento de pavimentos flexíveis:

- Melhor confiabilidade no projeto;
- Possibilidade de prever defeitos específicos;
- Possibilidade de extrapolação de resultados de laboratório e de campo;
- Maior compatibilização entre custo e benefício das obras;
- Possibilidade de prever as consequências de novas configurações de carregamento;
- Melhor utilização dos materiais disponíveis;
- Possibilidade de se considerar explicitamente os defeitos sazonais.

5.6 Vida útil de um pavimento

Tomando-se como referência o site de produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/RS (2014), a definição de vida útil de um pavimento será exposta na sequência.

A longevidade de um pavimento está diretamente ligada à diversidade e à intensidade de influências que atingem o mesmo. Então, baseando-se nessa constatação, conclui-se que se faz necessário o recapeamento ou restauração do pavimento, após este ter a sua funcionalidade prejudicada. (MARQUES,2011).

Obras de restauração “Conjunto de operações destinadas a restabelecer o perfeito funcionamento de um bem deteriorado ou avariado, e restabelecer na íntegra, suas características técnicas originais”. As obras de restauração são caracterizadas pela adição e/ou substituição total ou parcial de camadas de revestimento, recomposição e/ou substituição de camadas estruturais em pontos localizados, de tal forma que a estrutura resultante restabeleça as condições

originais da rodovia como segurança e conforto para o usuário.

Serviços de Recapeamento “Revestimento executado sobre outro já existente, com a finalidade de restaurá-lo ou reforçá-lo.

Define-se vida útil de um pavimento como sendo o intervalo de tempo entre duas restaurações, ou ainda, como o período decorrido entre sua execução inicial e a sua primeira restauração. (COUTUNHO, 2011).

Baseando-se nos princípios estabelecidos pelo método de projeto de pavimentos flexíveis do DNER, atual DNIT, constata-se que o dimensionamento de um pavimento é feito levando-se em consideração o número equivalente N de operações do eixo padrão. Costumeiramente, tal procedimento pressupõe a determinação de um período de projeto, geralmente na média de 10 anos. (MARQUES, 2011).

5.7 Dados do tráfego e número “N”

O dimensionamento de pavimentos é elaborado a partir de informações sobre o volume e a composição do tráfego, obtidos por meio da contagem volumétrica, que visa determinar a direção, a quantidade e a composição do fluxo de veículos que toma como referência um trecho escolhido de determinada rede viária, em relação a uma unidade de tempo (MOTTA 1991; FRANCO 2007).

A contagem volumétrica ocorre de duas maneiras: manualmente e automaticamente. A primeira utiliza-se de uma planilha adequada para o registro dos dados, feitos manualmente por um pesquisador postado ao lado da via. Enquanto que, a contagem automática dispõe de equipamentos instalados lateralmente sobre a rodovia, para a realização desta operação (UFRGS, 2014).

Segundo UFRGS (2014), o volume diário médio (VDM) define a quantidade de veículos mistos que transitam, em ambos os sentidos do tráfego, numa determinada seção da rodovia. Entre os benefícios proporcionados pelo VDM, podem-se enumerar os seguintes tópicos:

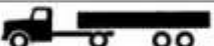
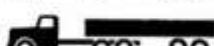
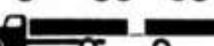
Dados consistentes a respeito da demanda e de como se compõe o tráfego em um trecho;

- Relação entre a demanda e a capacidade da via;
- Classificação da via, levando-se em consideração sua importância;

- Dimensionamento do pavimento, em função do cálculo do número N.
- Resistência oferecida pelo solo do subleito, verificada por meio de ensaios.
- “Índice de Suporte Califórnia” ou “Módulo de Resiliência”;
- Caracterização completa dos materiais que virão a compor o pavimento;
- Efeitos da densidade do tráfego;

Uma diversidade muito grande de veículos constitui o tráfego de carga que solicita o pavimento. Tais meios de transporte transitam pelas vias utilizando variados tipos de eixos, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 10. Composição do tráfego

Composição do Tráfego		
Tipo de Veículo	Configuração	Classe
Moto Automóvel Pick-up		Passeio
Ônibus 2E Ônibus 3E		Ônibus
Caminhão 2C		Carga leve
Caminhão simples 2C		Carga média
Caminhão trucado 3C Semi-reboque 2S1		Carga pesada
Semi-reboque 2S2 Semi-reboque 2S3 Semi-reboque 3S1 Semi-reboque 3S2 Semi-reboque 3S3 Reboque 2C2	   	Carga ultra- pesada

Fonte: Greco (2012, p.5)

5.8 Propriedades dos materiais de base, sub-base e reforço do subleito

Abordar-se-á nesse item, baseando-se em Bernucci et al. (2008), Couto (2009) e Neto (2011), os materiais que possam vir a compor a base, a sub-base e o reforço do sub-leito de um pavimento, de modo a acrescentar maior resistência estrutural ao mesmo.

5.8.1 Brita graduada simples

A brita graduada simples (BGS), Figura 11, tem seu emprego muito difundido

como base e sub-base em pavimentos asfálticos. Revela-se um material com distribuição granulométrica bastante regular. (BERNUCCI et al, 2008).

Conforme Bernucci et al. (2008), devido à interação do material pétreo e uma resistência satisfatória, a BGS apresenta-se com ISC de alto valor, estimado entre 60% e valores superiores a 100%. Relaciona-se também a tal esqueleto sólido o módulo de resiliência variando de 100 MPa a 400 MPa, resistência essa que advém da natureza dos agregados, do estado de compactação e do estado de tensões. A Figura 10 abaixo traz uma ilustração da brita graduada simples usualmente utilizada na confecção do pavimento asfáltico.

Figura 11. Brita graduada simples



Fonte: Imagem extraída do site do Grupo Ultramar³

5.8.2 Solo argiloso fino laterítico

O solo argiloso fino laterítico, Figura 12, notabiliza-se por ter em sua composição areia e argila laterítica. A granulometria do referido material identifica-se pela sua descontinuidade, pois não possui silte. O emprego deste material ocorre como reforço do subleito, sub-base e base em rodovias de tráfego médio ou pesado. (BERNUCCI et al, 2008).

Ressalta-se que os maiores e menores valores de Módulo de Resiliência (MR), neste caso, estão ligados ao percentual de argila no material, de modo que os mais argilosos apresentam MR's aquém dos valores obtidos pelos materiais menos argilosos. A partir disso, pode-se afirmar que os valores de MR variam de 100 MPa a 500 MPa, sofrendo influência do tipo do solo laterítico presente (BERNUCCI et al., 2008). Conforme pode ser visualizado na Figura 11 abaixo.

Figura 12. Solo Argiloso Fino Laterítico.



Fonte: Imagem extraída do site Portal de Tecnologia

5.8.3 Solo cimento

A adição de cimento no solo justifica-se pela estabilização química que este proporciona ao material primário.

Os objetivos aos quais se deseja chegar quando há a união desses dois componentes variam de acordo com o percentual de cimento junto ao solo. Assim, percentuais acima de 5% em relação à massa total, são empregados para a obtenção do material denominado solo-cimento, de modo a atingir-se o enrijecimento do solo. Em contrapartida, se a intenção está em acrescentar qualidade às propriedades como trabalhabilidade e capacidade de suporte, usam-se percentuais mais baixos de cimento, da ordem de 3%, e define-se o material como mistura de solo melhorado com cimento. (BERNUCCI et al, 2008).

Torna-se um condicionante para a realização da estabilização de um solo com cimento, a presença de uma apreciável proporção de areia no mesmo. A presença importante da argila torna o processo dispendioso no que diz respeito ao aspecto econômico, pois o solo com alto teor de argila pode apresentar uma retração muito expressiva. (BERNUCCI et al, 2008).

O emprego desse tipo de material tem se mostrado eficiente, embora exija uma mistura bem dosada. O principal problema desse tipo de solo é o aparecimento de um excessivo número de trincas devido à retração. A propósito, este material é utilizado em base e sub-base, principalmente em pavimentos de concreto. Conforme Bernucci et al. (2008), o material possui Módulo de Resiliência variando de 2000 MPa a 10000 MPa. Um exemplo de solo cimento pode ser visualizado na Figura 13 abaixo.

Figura 13. Solo Cimento



Fonte: Bernucci et al. (2008, p. 356)

5.9 Parâmetros de deformabilidade dos materiais usuais de pavimentação

Os mecanismos para a obtenção da resistência dos solos e materiais granulares serão apresentados na sequência, tomando-se como base a bibliografia de Bernucci et al. (2008), Motta (1991) e as normas ABNT NBR 9895 e DNIT – ES 134/2010.

5.9.1 Índice de suporte Califórnia

O ensaio para a determinação do Índice de Suporte Califórnia, com abreviatura de ISC em português e CBR em inglês, foi concebido no final da década de 1920 para avaliar o potencial de ruptura do subleito, uma vez que era o defeito mais frequentemente observado nas rodovias do estado da Califórnia naquele período (FOSTER, 1950).

O ensaio foi concebido, portanto, para avaliar a resistência do material frente a deslocamentos significativos, sendo obtida por meio de ensaio penetrométrico em laboratório. (FOSTER, 1950).

Foram selecionados os melhores materiais granulares de bases de pavimentos com bom desempenho à época da pesquisa de campo californiana e a média de resistência à penetração no ensaio ISC foi estabelecida como sendo o valor de referência ou padrão, equivalente a 100%. Todos os materiais referenciados por um valor em porcentagem são representando o quão melhor ou pior é sua resistência no ensaio ISC por comparação com aqueles materiais granulares de referência, designados simplificadaamente de “material padrão”. Assim, podem ser encontrados valores de ISC bem baixos, da ordem de unidades, a valores acima de

100%. (FOSTER, 1950).

A resistência ou capacidade de suporte ISC foi correlacionada empiricamente com o desempenho das estruturas levando a um método de dimensionamento de pavimentos que fixa espessuras mínimas da estrutura dependendo do índice de suporte do subleito, de modo a limitar tensões e protegê-lo da ruptura. Este método serviu como referencial para o desenvolvimento de outros métodos, como o do Corpo de Engenheiros norte-americano e, mais tarde, o método brasileiro do DNER 1966 (última versão revisada e publicada em 1981). (FOSTER, 1950).

A resistência no ensaio ISC é uma resposta que combina indiretamente a coesão com o ângulo de atrito do material. O ISC é expresso em porcentagem, sendo definido como a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo ou material granular e a pressão necessária para produzir a mesma penetração no material padrão referencial. (FOSTER, 1950).

O ensaio ISC, cujo procedimento é regido no Brasil pela norma DNER-ME 049/94, consiste de forma sucinta nas seguintes etapas:

A moldagem do corpo-de-prova: solo ou material passado na peneira $\frac{3}{4}$ ", compactado na massa específica e umidade de projeto, em um molde cilíndrico de 150mm de diâmetro e 125mm de altura, provido de um anel complementar de extensão com 50mm de altura. (FOSTER, 1950). Conforme Figura 14 abaixo.

Figura 14. Compactação de corpos-de-prova



Fonte: (Fotos: Motta, 2005)

Imersão do corpo-de-prova: imerge-se o cilindro com a amostra compactada dentro, em um depósito cheio d'água, durante quatro dias. Durante todo o período

de imersão é empregada uma sobrecarga-padrão de 10lbs sobre o corpo-de-prova, que corresponde a 2,5 polegadas de espessura de pavimento sobre o material. Então, são feitas leituras por meio de um extensômetro, a cada 24 horas, calculando-se a expansão axial do material em relação à altura inicial do corpo-de-prova (MOTTA, 2005). A Figura 15 abaixo traz a realização dos ensaios de imersão em corpos-de-prova.

Figura 15. Imersão dos corpos-de-prova em água para medida de expansão axial



Fonte: (Fotos: Motta, 2005)

Penetração do corpo-de-prova: feita através do puncionamento na face superior da amostra por um pistão com aproximadamente 50mm de diâmetro, sob uma velocidade de penetração de 1,25mm/min. (MOTTA e MEDINA, 2006).

Figura 16. Ensaio penetrométrico



Fonte: (Fotos: Motta, 2005)

Anotam-se, ou registram-se no caso de equipamento automatizado, as pressões do pistão e os deslocamentos correspondentes, de forma a possibilitar a plotagem de uma curva pressão-penetração, na qual se definem os valores de pressão correspondentes a 2,54mm (P0,1") e 5,08mm (P0,2"). (MOTTA, 2005).

Estas curvas de pressão-penetração devem possuir um primeiro trecho praticamente retilíneo, característico de fase elástica, seguido de um trecho curvo, característico de fase plástica. Inflexão no início da curva tem significado de problemas técnicos de ensaio e essas curvas devem ser corrigidas – sugere-se leitura das referências bibliográficas já mencionadas para esses detalhes de ensaio. (MOTTA e MEDINA, 2006).

5.9.2 Módulo de resiliência

No ensaio para a determinação do módulo de resiliência, diametral ou de tração indireta (DNER 131/94 e ASTM D4123), um pulso de carga é aplicado verticalmente e gera uma tensão diametralmente em um corpo-de-prova tipo Marshall de uma mistura asfáltica. (PEREIRA, 2008).

A deformação horizontal, a vertical ou ambas são registradas. Assumindo um comportamento linear, a relação entre a tensão de tração normal aplicada ao plano vertical diametral (σ_t) e a respectiva deformação específica registrada no plano diametral horizontal (ϵ_{tr}) fornecem o módulo de resiliência (MR).

No Brasil, TONIAL (2001) mostra que, embora o parâmetro módulo dinâmico por compressão axial ($|E^*|$) e o módulo de resiliência obtido por compressão diametral (MR) representem a relação dinâmica σ/ϵ , os resultados de cada um, obtidos em ensaios realizados sobre misturas asfálticas idênticas, apresentam valores diferentes.

A diferença entre os métodos de ensaio justifica as diferenças entre os módulos. Além do tamanho diferente das amostras ensaiadas, o ensaio para obtenção do Módulo Complexo é do tipo triaxial (sem confinamento) e a tensão desvio é aplicada em pulsos senoidais. Já no ensaio de tração indireta para obtenção do Módulo de Resiliência a amostra é submetida a uma compressão diametral, onde a tensão desvio é aplicada em pulsos “retangulares” de tempo de aplicação de carga de 0,1s e 0,9s de repouso com frequência de 60 ciclos por minuto ou 1 hertz. (TONIAL 2001).

O estado de tensões gerado no ensaio de tração indireta é admitido como sendo plano e biaxial e produz tanto tensões de tração quanto de compressão num mesmo instante em direções opostas. TONIAL (2001).

Segundo MAMLOUK e SAROFIM (1989), a hipótese de que o corpo-de-prova esteja sujeito a um estado plano de tensões é válida quando a espessura do corpo-

de- prova é pequena quando comparada ao seu diâmetro, como por exemplo, a forma de disco. Com base nesta consideração, os citados autores questionam a utilização de corpos-de-prova do tipo Marshall para realização do ensaio, uma vez que a espessura do corpo-de-prova não é tão menor do que o seu diâmetro.

Os centros de pesquisa no Brasil utilizam esse método para a determinação do módulo de resiliência de misturas asfálticas há muitos anos. O equipamento é o mesmo utilizado nos ensaios para a determinação dos parâmetros relacionados à fadiga das misturas asfálticas. (MAMLOUK E SAROFIM, 1989).

MOTTA *et al.* (2002) descrevem a variação do comportamento do módulo de resiliência com a variação das características da mistura. Segundo eles, de forma geral, pode-se dizer que o módulo de resiliência:

Varia com a granulometria da mistura sendo maior quanto mais grossa for a faixa adotada;

Varia com o ligante asfáltico sendo maior quanto menor a penetração do asfalto ou maior a sua viscosidade;

Não é muito sensível ao teor de asfalto, dentro da faixa normal de dosagem; e é influenciado pela relação asfalto/ fíler e a própria natureza do fíler.

Segundo MOTTA *et al.* (2002), não é trivial se obter uma relação simples de estimativa de módulo de resiliência que considere todos os aspectos da mistura. O trabalho citado apresenta regressões exclusivamente visando servir de base para anteprojetos, pois foram obtidas com base em um banco de dados restrito. Os dados utilizados são de resultados de ensaios de compressão diametral, com tempo de aplicação de carga de 0,1 segundo e frequência de 1 Hz, realizados no laboratório da COPPE.

Outra correlação apresentada por MOTTA *et al.* (2002), diz respeito as misturas asfálticas, recém compactadas, preparadas com asfalto-polímero tipo SBS que geram características granulométricas com teores de polímeros variados.

MARQUES (2004) mostrou ser possível obter modelos de previsão como critérios de dosagem para projetar misturas asfálticas para atender a um determinado valor (ou faixa de valores) de módulo de resiliência. Os modelos de previsão desenvolvidos pelo autor consideraram três tipos de misturas e são aplicáveis aos materiais e combinações estudadas em sua pesquisa. Sua extrapolação para outros fatores ou combinações de fatores e níveis diferentes dos analisados em seu trabalho requer cuidados especiais (MARQUES, 2004).

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de análise utilizada para esta pesquisa consistiu em três etapas. A primeira etapa visou trazer uma revisão de literatura a respeito da aplicação do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis segundo o método empírico do DNIT, a segunda etapa consistiu-se na coleta de dados de tráfego na rodovia TO-050 em um período de leitura de 24 horas. Por fim, para a terceira etapa, foram coletadas amostras deformadas de solo ao longo da rodovia para a caracterização do estado atual da rodovia.

6.1 Localização da área de estudo

A área de estudo compreende a extensão da rodovia TO – 050, conhecida também como Rodovia Coluna Prestes. Caracterizada por ser uma rodovia radial, possui extensão de aproximadamente 437 km com sua estaca zero na capital do Estado e sua estaca final em Arraias exatamente na divisa com o estado de Goiás. É considerada uma das principais vias de acesso da Capital do estado e do escoamento de grãos de Porto Nacional ao Pátio da ferrovia Norte e Sul, sendo uma importante via de acesso à BR-153.

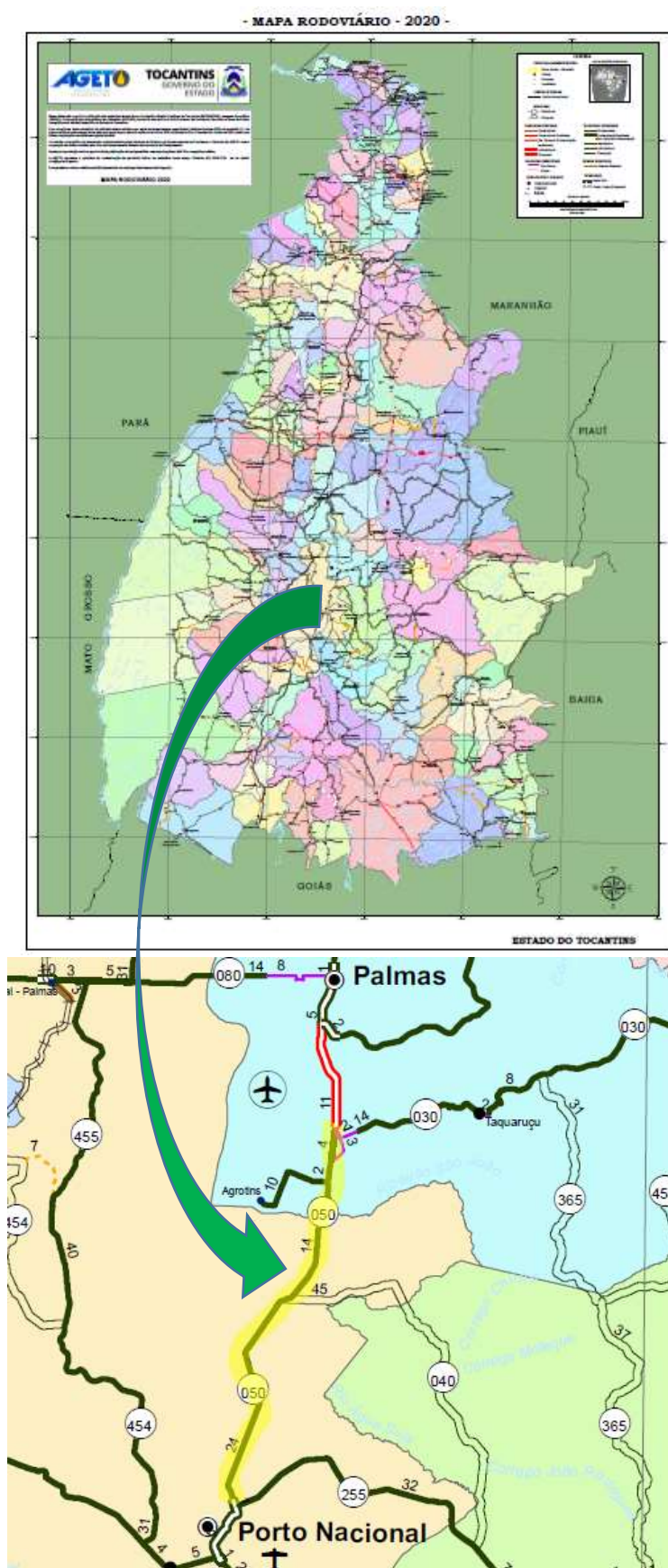
O trecho analisado se encontra entre Palmas e Porto Nacional, tendo extensão aproximada de 59 Km. A Figura 17 e 18 abaixo mostram a localização da área de estudo e o traçado rodovia a ser estudada respectivamente. Sendo esta, responsável por ligar as cidades de Porto Nacional a Palmas.

Figura 17. Localização da área da pesquisa



Fonte: Wikipedia (2020)

Figura 18. Trecho de 59 km entre a TO-050 e Porto Nacional – TO



6.2 Coleta dos dados de tráfego

A coleta de dados de tráfego constitui-se de uma etapa essencial para o dimensionamento da rodovia através da utilização dos métodos empíricos. A contagem volumétrica é a verificação quantitativa do número de veículos que transitam durante um período de 24 horas na rodovia. Essa contagem se dá em intervalos de 15 minutos e são computados os dados referentes ao número total de motocicletas, carros, ônibus municipal e intermunicipal, caminhões e bicicletas.

Esses dados são coletados pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, Serviços Públicos, Trânsito e Transporte e armazenados nos bancos de dados do município de Palmas – TO. Deste modo, foi solicitado via ofício formal à prefeitura do município, os dados da contagem volumétrica da TO – 050 para o seu posterior dimensionamento.

6.3 Realização dos ensaios de pavimentação

Constituídos por uma série de ensaios *in situ* e em laboratório a partir de amostra coletada, os ensaios de pavimentação são essenciais para o correto dimensionamento do pavimento, pois, é através dos resultados dos ensaios que são obtidas informações referente às características do solo local, bem como as suas limitações frente a determinados métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis.

No que diz respeito aos ensaios de caracterização física do solo necessários à aplicação do Método Empírico, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) descreve os ensaios necessários a serem realizados a partir da coleta de amostra do solo. Dentre esses ensaios, destacam-se: granulometria, limites de consistência, índice de grupo, equivalente de areia e o Índice de Suporte Califórnia (CBR).

- Granulometria: consiste na determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo;
- Limites de Consistência: visam avaliar a capacidade de plasticidade do solos. Dentro dos ensaios que visam a determinação da consistência, têm-se os ensaios de limite de plasticidade e limite de liquidez. A partir dos

resultados dos ensaios de LP e LL, é possível obter o valor do limite de plasticidade a partir da subtração do LL pelo LP;

- Índice de grupo: diz respeito ao valor numérico que retrata o duplo aspecto de plasticidade e graduação das partículas do solo.
- Equivalente de Areia: ensaio utilizado no controle de finos de materiais granulares usados na pavimentação;
- Índice de Suporte Califórnia: ensaio que consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão em um corpo-de-prova de solo local, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada.

Deste modo, foi realizado uma série de ensaios tanto *in situ*, quanto em laboratório para a determinação das características do solo local e seu posterior dimensionamento seguindo a metodologia determinada. A Tabela 2 abaixo traz o resumo dos ensaios a serem realizados, bem como os equipamentos a serem utilizados.

Tabela 2. Ensaio a serem realizados

ENSAIO	EQUIPAMENTO
Granulometria	Série normal de peneiras
Umidade <i>in situ</i>	Aparelho Speedy
Massa específica	Frasco de areia
Compactação	Cilindro de Proctor
Limite de liquidez	Aparelho de Casagrande
Limite de plasticidade	Placa de vidro
Expansão	Prensa CBR
CBR	Prensa CBR

Fonte: Próprio autor

Ainda segundo o Manual de Pavimentação, em termos gerais, as amostras de solo a serem submetidas aos ensaios devem ser retiradas a cada 200 m de extensão longitudinal da rodovia em estudo. Trazendo a recomendação do Manual para a Rodovia em estudo, seriam necessários a coleta de aproximadamente 250 amostras de solo ao longo do trecho a ser estudado. Entretanto, dada as dificuldades atuais para este trabalho, foram coletadas apenas duas amostras necessárias à realização dos ensaios requeridos pelo método empírico.

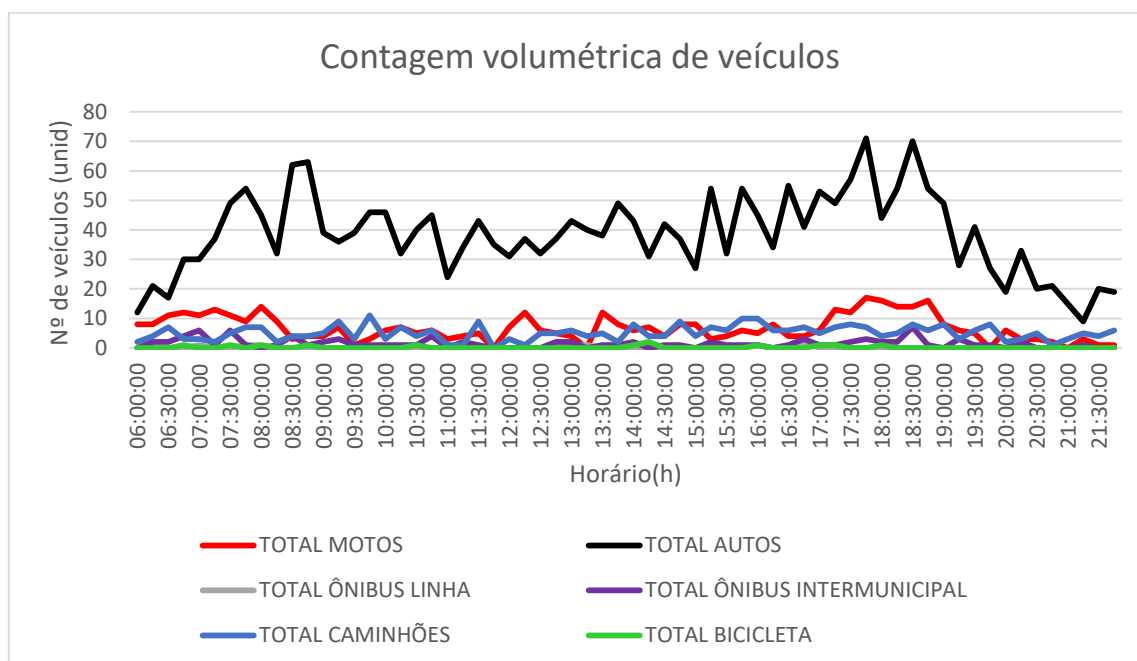
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Coleta dos dados de tráfego

O aumento do número de veículos circulando em rodovias têm causado diversos problemas para a manutenção desse sistema urbano (DE OLIVEIRA *et al*, 2013). Uma das medidas de controle para a verificação do fluxo diário de veículos em uma rodovia é feita a partir de um radar que capta, ao longo de 24 horas, o número de veículos automotores, de propulsão humana e propulsão animal que transitam por uma determinada rodovia. As leituras e armazenamento dos dados de tráfego ficam sob jurisdição de diferentes órgãos, a depender do nível das rodovias, que podem ser municipais, estaduais ou federais.

Para a rodovia TO-050 em questão, a coleta e armazenamento dos dados de tráfego fica sob responsabilidade da Secretaria Municipal de Infraestrutura, Serviços Públicos, Trânsito e Transporte. A partir dos dados coletados pela Secretaria Municipal, tornou-se possível demonstrar graficamente o fluxo de veículos diários com os respectivos horários de pico. A Figura 19 abaixo traz o volume diário de cada veículo que transita na TO-050.

Figura 19. Volume diário médio de veículos na rodovia TO-050

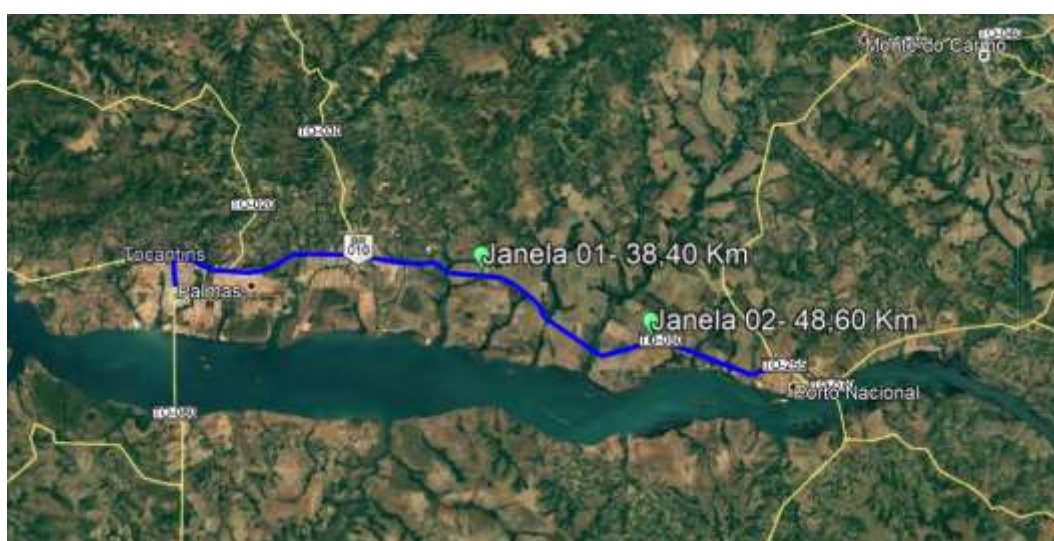


Fonte: Adaptado de Secretaria Municipal de Infraestrutura, Serviços Públicos, Trânsito e Transporte (2020)

7.2 Ensaios necessários à aplicação do método empírico

No dia 21/03/2021 foi realizada uma visita técnica juntamente com a equipe da Técnica Engenharia para a realização das atividades propostas. A partir da visita técnica à Rodovia TO – 050, foram coletadas duas amostras de solo do pavimento em questão para realização de ensaios de laboratório e realizados ensaios rápidos *in situ*. A primeira janela de inspeção foi realizada no quilômetro 38,4 no sentido Palmas – Porto Nacional, já a segunda janela foi coletada no quilômetro 48,6. A Figura 20 abaixo traz o mapa da rodovia com a localização das janelas de inspeção.

Figura 20. Localização das janelas de inspeção



Fonte: Google Earth (2021)

Tabela 3. Resumo das janelas de inspeção

JANELA DE INSPEÇÃO	COORDENADAS	DIMENSÕES
JANELA 01	N: 8843421,000	70 x 70 x 60
	E: 793892,000	
JANELA 02	N: 8828978,000	70 x 70 x 60
	E: 787714,00	

Fonte: Próprio autor

A Rodovia Coluna Prestes atualmente possui como sistema de revestimento o Tratamento Superficial Duplo (TSD), método este amplamente utilizado no Brasil por conta da rápida execução e baixo custo, entretanto, não é considerado um sistema de pavimento estrutural. A Figura 21 abaixo mostra o momento da inspeção da camada de TSD executada na rodovia em questão.

Figura 21. Realização da inspeção na camada de TSD



Fonte: Próprio autor

Nas Figuras 22 e 23, respectivamente, é possível visualizar o início da abertura das janelas de inspeção pela equipe e a coleta das amostras de solo necessárias à realização dos ensaios de laboratório.

Figura 22. Chegada da equipe para realização dos ensaios *in situ*



Fonte: Próprio autor

Figura 23. Amostra 01 referente a coleta de material do subleito



Fonte: Próprio autor

7.2.1 Análise granulométrica por peneiramento

Objetivando a quantificação da distribuição pelo tamanho das partículas de solo, os ensaios de análise granulométrica constituem parte essencial para o dimensionamento de uma rodovia de pavimento flexível (DE ALMEIDA *et al*, 2012).

A partir da coleta das amostras da base, sub-base e subleito da Rodovia TO-050, foram levadas em laboratório e destorroadas e secas em estufa para a posterior realização do ensaio de granulometria por peneiramento seguindo a série normal de peneiras. A Figura 24 abaixo traz o ensaio de granulometria por peneiramento.

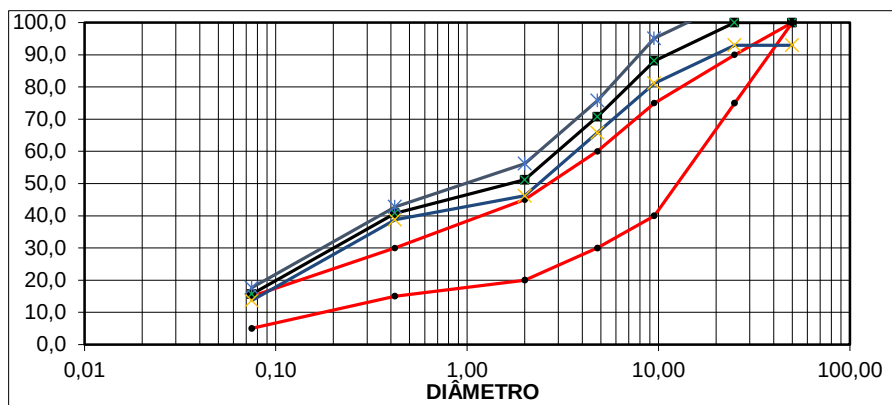
Figura 24. Realização do ensaio de granulometria por peneiramento a seco



Fonte: Próprio autor

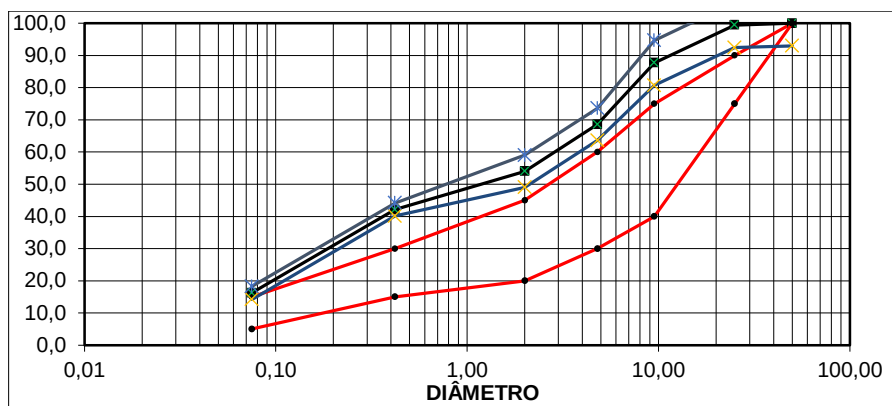
As Figuras 25 a 30 abaixo fornecem os resultados dos ensaios de granulometria a seco para cada amostra coletada.

Figura 25. Análise granulométrica da base da amostra 01



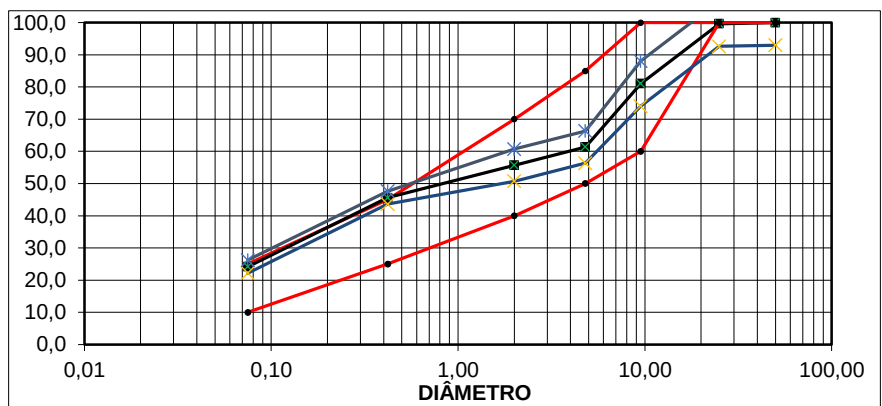
Fonte: Próprio autor

Figura 26. Análise granulométrica da sub-base da amostra 01



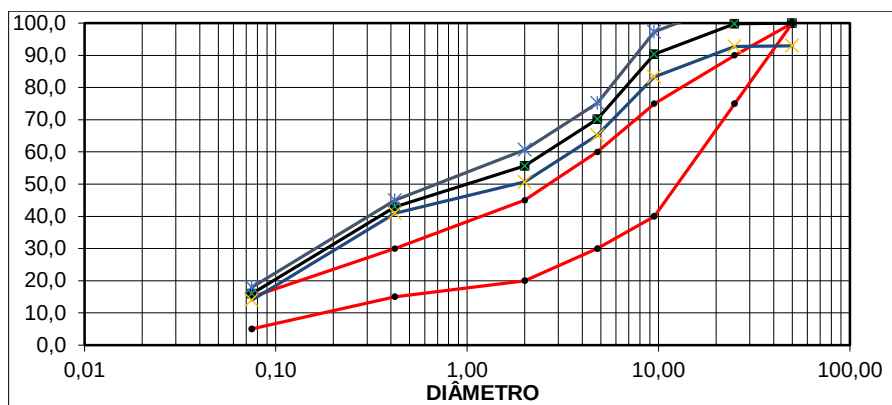
Fonte: Próprio autor

Figura 27. Análise granulométrica do subleito da amostra 01



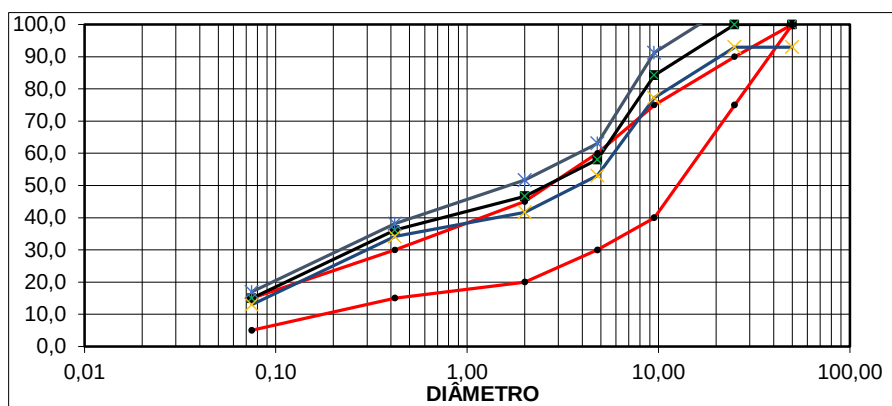
Fonte: Próprio autor

Figura 28. Análise granulométrica da base da amostra 02



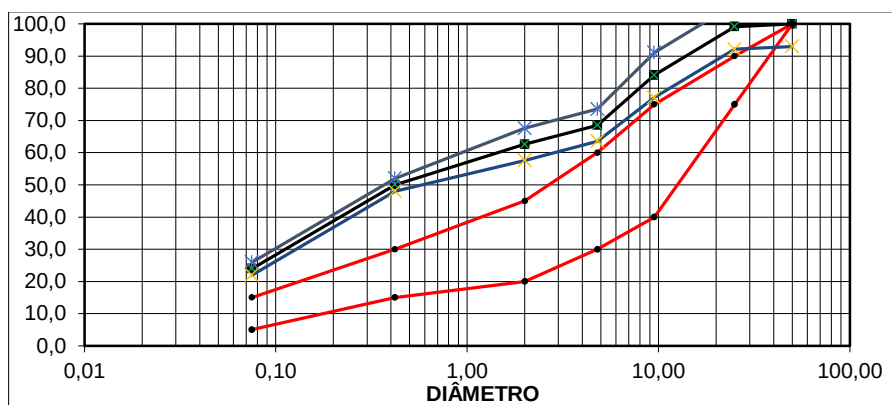
Fonte: Próprio autor

Figura 29. Análise granulométrica da sub-base da amostra 02



Fonte: Próprio autor

Figura 30. Análise granulométrica do subleito da amostra 02



Fonte: Próprio autor

A Tabela 10 abaixo traz o resumo dos valores encontrados a partir da realização dos ensaios de análise granulométrica por peneiramento.

Tabela 4. Resumo dos ensaios de análise granulométrica por peneiramento

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO								
MATERIAL PASSANTE NAS PENEIRAS (%)								
		1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
AMOSTRA 01	BASE	100.0	97.7	88.1	70.8	51.2	42.8	17.7
	SUB-BASE	99.4	95.9	87.7	68.6	54.0	44.1	18.2
	SUBLEITO	99.6	96.2	81.1	61.4	55.7	47.6	26.2
AMOSTRA 02	BASE	99.8	97.1	90.3	70.2	55.7	45.0	18.0
	SUB-BASE	100.0	97.2	84.2	58.0	46.7	38.1	17.0
	SUBLEITO	99.1	94.2	84.1	68.5	62.6	52.0	26.0

Fonte: Próprio autor

7.2.2 Limite de liquidez e plasticidade

Definido como o teor de umidade no solo da qual limita entre o comportamento fluido e o moldável, o limite de liquidez constitui-se de parâmetro essencial na classificação e caracterização dos solos finos em geral (SOUSA, 2011).

Utilizando-se do aparelho de Casagrande, também conhecido como concha de Casagrande, foram calculados os limites de liquidez para as duas amostras de solo coletadas. A Figura 31 abaixo mostra a realização do ensaio de limite de liquidez através da utilização da concha de Casagrande.

Figura 31. Realização do ensaio de Casagrande para a determinação do limite de liquidez



Fonte: Próprio autor

Assim como o limite de liquidez, o limite de plasticidade é de fundamental importância para a caracterização do solo a ser utilizado em determinado pavimento. Sendo assim, o limite de plasticidade é definido como o teor de umidade necessário

para que o solo passe do estado plástico para o estado semissólido. A Figura 32 abaixo mostra a realização do ensaio de limite de plasticidade a partir da amostra coletada.

Figura 32. Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Próprio autor

As Tabelas 5 e 6 abaixo trazem os resultados referentes aos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade para as duas amostras de solo coletados.

Tabela 5. Limite de liquidez e plasticidade do subleito da amostra 01

Limite de Liquidez					DNER-ME 122/94		Limite de Plasticidade			DNER-ME 082/94	
Cápsula Nº		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C+S+A	g	24.66	25.88	24.00	23.99	25.10	16.11	15.66	14.56	13.90	14.88
C+S	g	22.35	23.21	21.40	21.34	22.01	15.41	14.90	14.01	13.50	14.35
Á - água	g	2.31	2.67	2.60	2.65	3.09	0.70	0.76	0.55	0.40	0.53
C- Cápsula	g	10.65	10.51	10.00	10.90	10.78	10.99	10.00	10.27	10.91	10.69
S- Solo	g	11.70	12.70	11.40	10.44	11.23	4.42	4.90	3.74	2.59	3.66
Umidade	%	19.7	21.0	22.8	25.4	27.5	15.8	15.5	14.7	15.4	14.5
Nº Golpes		12	20	30	40	50	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Constante		Média			1.029	1.029	Numero de Pontos Aproveitados				5.0
LL Calculado	%	27.2			26.1	28.3	Limite de Plasticidade Media				15.2

Fonte: Próprio autor

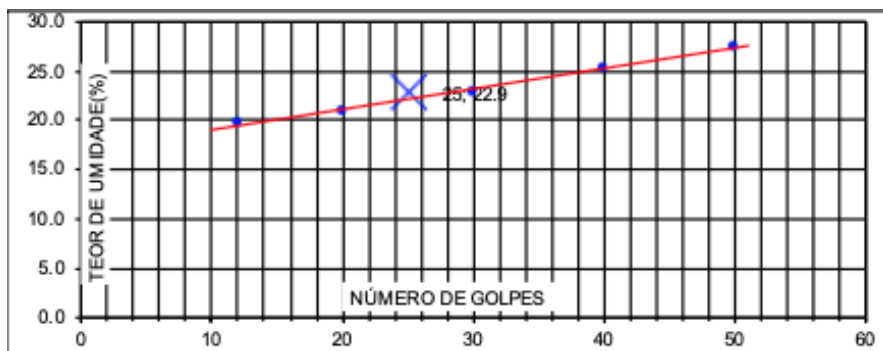
Tabela 6. Limite de liquidez e plasticidade do subleito da amostra 02

Limite de Liquidez				DNER-ME 122/94		Limite de Plasticidade			DNER-ME 082/94		
Cápsula Nº		12	15	13	17	18	19	23	25	26	27
C+S+A	g	24.45	23.98	23.77	26.00	25.30	17.00	15.30	14.45	13.90	14.17
C+S	g	22.21	21.59	21.31	22.78	22.18	16.06	14.70	13.93	13.44	13.69
Á - água	g	2.24	2.39	2.67	3.22	3.12	0.94	0.60	0.52	0.46	0.48
C- Cápsula	g	10.98	10.86	10.40	9.99	10.75	10.41	11.00	10.62	10.72	10.72
S- Solo	g	11.23	10.73	10.91	12.79	11.43	5.65	3.70	3.31	2.72	2.97
Umidade	%	19.9	22.3	24.5	25.2	27.3	16.6	16.2	15.7	16.9	16.2
Nº Golpes		12	20	30	40	50	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Constante		Média			1.029	1.029	Numero de Pontos Aproveitados				5.0
LL Calculado	%	27.0			25.9	28.1	Limite de Plasticidade Media				16.3

Fonte: Próprio autor

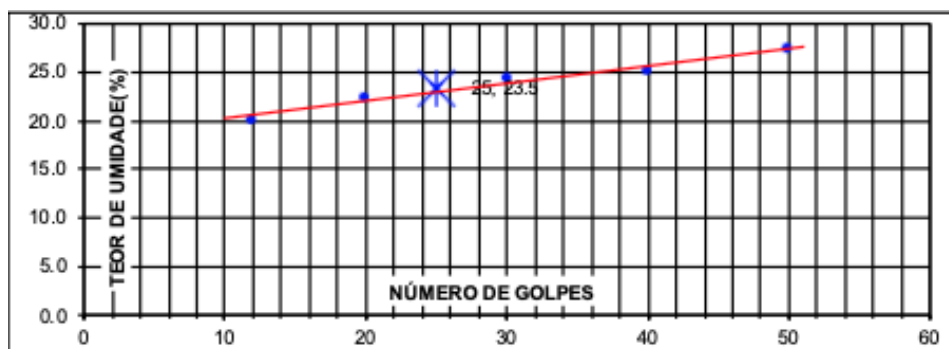
É possível analisar graficamente os limites de liquidez para ambos os subleitos das amostras, conforme indicados nas Figuras 33 e 34 abaixo.

Figura 33. Gráfico do limite de liquidez da amostra 01



Fonte: Próprio autor

Figura 34. Gráfico do limite de liquidez da amostra 02



Fonte: Próprio autor

Em decorrência da homogeneidade das duas amostras de solo coletadas, tornou-se necessário apenas a realização de um ensaio de limite de liquidez e plasticidade para cada amostra.

7.2.3 Massa específica *in situ* com frasco de areia

Visando a obtenção do parâmetro massa específica, foi realizado *in situ* o ensaio comumente conhecido como determinação da massa específica com emprego do frasco de areia. Seu principal objetivo foi a obtenção da massa específica aparente seca e, conseqüentemente, o grau de compactação do solo da Rodovia TO-050, seguindo as diretrizes da norma NBR-7185 de 1986. A Figura 35 abaixo mostra o exato momento da realização do ensaio *in situ*.

Figura 35. Ensaio da massa específica *in situ* com emprego do frasco de areia

Fonte: Próprio autor

As Tabelas 7 a 12 abaixo trazem os resultados dos ensaios de massa específica para ambas as amostras coletadas.

Tabela 7. Massa específica da base da amostra 01

Peso do Jarro antes	Peso do Jarro depois	Peso da areia sem correção	Correção (funil)	Peso de areia corrigido	Densidade da areia	Volume do furo	Peso do material retirado	Densidade úmida	Teor de umidade	Densidade seca
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	%	(g/cm ³)
6000	2889	3111	525	2586	1375	1,881	4055	2156	9,8	1964

Fonte: Próprio autor

Tabela 8. Massa específica da sub-base da amostra 01

Peso do Jarro antes	Peso do Jarro depois	Peso da areia sem correção	Correção (funil)	Peso de areia corrigido	Densidade da areia	Volume do furo	Peso do material retirado	Densidade úmida	Teor de umidade	Densidade seca
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	%	(g/cm ³)
6000	2800	3200	525	2675	1375	1,945	4164	2141	10,4	1939

Fonte: Próprio autor

Tabela 9. Massa específica do subleito da amostra 01

Peso do Jarro antes	Peso do Jarro depois	Peso da areia sem correção	Correção (funil)	Peso de areia corrigido	Densidade da areia	Volume do furo	Peso do material retirado	Densidade úmida	Teor de umidade	Densidade seca
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	%	(g/cm ³)
6000	2933	3067	525	2542	1375	1,849	3591	1942	10,4	1759

Fonte: Próprio autor

Tabela 10. Massa específica da base da amostra 02

Peso do Jarro antes	Peso do Jarro depois	Peso da areia sem correção	Correção (funil)	Peso de areia corrigido	Densidade da areia	Volume do furo	Peso do material retirado	Densidade úmida	Teor de umidade	Densidade seca
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	%	(g/cm ³)
6000	2790	3210	525	2685	1375	1,953	4037	2067	5,9	1952

Fonte: Próprio autor

Tabela 11. Massa específica da sub-base da amostra 02

Peso do Jarro antes	Peso do Jarro depois	Peso da areia sem correção	Correção (funil)	Peso de areia corrigido	Densidade da areia	Volume do furo	Peso do material retirado	Densidade úmida	Teor de umidade	Densidade seca
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	%	(g/cm ³)
6000	2800	3200	252	2675	1375	1,945	4082	2099	7,0	1962

Fonte: Próprio autor

Tabela 12. Massa específica do subleito da amostra 02

Peso do Jarro antes	Peso do Jarro depois	Peso da areia sem correção	Correção (funil)	Peso de areia corrigido	Densidade da areia	Volume do furo	Peso do material retirado	Densidade úmida	Teor de umidade	Densidade seca
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(g/cm ³)	%	(g/cm ³)
6000	2845	3155	525	2630	1375	1913	3679	1923	8,9	1766

Fonte: Próprio autor

7.2.4 Umidade natural com *speedy test*

O ensaio de umidade natural com o auxílio do *speedy test* consiste na obtenção da relação entre a massa de água presente num dado volume de solo. Como o próprio nome sugere, o *speedy test* é um teste rápido realizado *in situ* a partir da introdução de uma ampola contendo carbureto de cálcio em um ambiente confinado. Quando quebrado a ampola, a reação química ocorre e a pressão gerada pela expansão do gás é proporcional à quantidade de água presente dentro do aparelho, possibilitando assim a mensuração do teor de umidade natural. A Figura 36 abaixo mostra a realização do ensaio de umidade natural sendo realizada em campo.

Figura 36. Ensaio de umidade natural com auxílio do *speedy test*

Fonte: Próprio autor

Os resultados para o ensaio de umidade natural estão expressos na Tabela 13 abaixo.

Tabela 13. Resultados do ensaio de umidade natural com auxílio do *speedy test*

AMOSTRA	CAMADA	UMIDÍMETRO (Speedy)
A01	Base	9,8
	Sub-base	10,1
	Subleito	10,4
A02	Base	5,9
	Sub-base	7,0
	Subleito	8,9

Fonte: Próprio autor

7.2.5 Compactação

O ensaio de compactação de solos foi realizado seguindo a norma ABNT NBR 7182/1986 para ensaios de compactação. Desenvolvido por Ralph Proctor em 1933, o ensaio normal de Proctor tem por objetivo a mensuração da densidade máxima do solo. O ensaio consistiu na compactação do solo com a ajuda de um soquete de aproximadamente 2,5 kg sobre uma amostra de 1,000 cm³ de solo, aplicando-se 25 golpes em cada uma das três camadas do solo da amostra. A Figura 37 abaixo mostra a realização do ensaio normal de Proctor com a amostra coletada. Os

resultados do ensaio de compactação encontram-se no Apêndice A do trabalho de Lima (2021), ao final da pesquisa.

Figura 37. Ensaio de compactação normal de Proctor



Fonte: Próprio autor

A Tabela 14 abaixo traz o resumo dos valores encontrados a partir da realização do ensaio de compactação do solo.

Tabela 14. Resumo do ensaio de compactação do solo

ANÁLISE DO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO							
LABORATÓRIO				CAMPO			
		Mat. Retido	Hot	D. máx	H. <i>in situ</i>	D. <i>in situ</i>	G. C.
AMOSTRA 01	BASE	56.6	10.4	2,010	5.9	1,952	97.1
	SUB-BASE	49.9	10.6	1,990	7.0	1,962	98.6
	SUBLEITO	42.2	10.8	1,824	8.9	1,766	96.8
AMOSTRA 02	BASE	53.1	10.2	2,027	9.8	1,964	96.9
	SUB-BASE	50.5	10.3	2,016	10.4	1,939	96.2
	SUBLEITO	48.9	10.3	1,836	10.4	1,759	95.8

Fonte: Próprio autor

7.2.6 CBR e expansão

No Brasil, as normas referentes aos ensaios de CBR são a NBR 9895/1987 – Solo – Índice de Suporte Califórnia e a DNER-ME 049/94 – Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia. O ensaio de CBR objetiva a determinação da resistência à penetração por uma determinada amostra saturada previamente compactada seguindo as normativas para o ensaio de Proctor (SOUZA *et al*, 2007).

Conforme descrito por Souza *et al* (2007), o ensaio de CBR faz a relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico em um corpo de prova de solo e a pressão necessária para penetrar esse mesmo pistão em uma brita padronizada. Além disso, o ensaio de CBR permite ainda a obtenção do índice de expansibilidade de um determinado solo através da sua imersão em água por 4 dias.

As figuras 38 e 39 abaixo mostram, respectivamente, a realização do ensaio de expansibilidade e CBR seguindo as diretrizes normativas. Os resultados do ensaio de CBR e expansibilidade encontram-se no Apêndice B do trabalho do Lima, S. S. (2021), ao final da pesquisa.

Figura 38. Ensaio de expansibilidade



Fonte: Próprio autor

Figura 39. Ensaio de CBR



Fonte: Próprio autor

A Tabela 15 abaixo traz o resumo dos valores encontrados a partir da realização dos ensaios de expansão e CBR.

Tabela 15. Resumo dos ensaios de expansão e CBR

ANÁLISE DO ENSAIO DE CBR E EXPANSÃO			
ENSAIO DE ISC (%)			
		Expansão	ISC
AMOSTRA 01	BASE	0.0	61.8
	SUB-BASE	0.0	56.7
	SUBLEITO	0.08	29.2
AMOSTRA 02	BASE	0.0	62.3
	SUB-BASE	0.0	58.5
	SUBLEITO	0.1	28.3

Fonte: Próprio autor

7.3 Dimensionamento segundo o método empírico do DNIT

7.3.1 Cálculo do número “N”

Conforme definido por Soares (2001), o número “N” é o método de dimensionamento para pavimentos rodoviários comumente utilizado no Brasil. Definido como o número de repetições do eixo padrão de roda dupla de 8,2 tf, o cálculo deste número leva em consideração parâmetros de Volume Médio Diário (VMD) anual de veículos, Fator de Veículo (FV), Fator de Eixo (FE) e Fator de Carga (FC). A Equação 1 abaixo traz a fórmula para determinação do número “N”.

$$N = 365 * P * VMD * FV$$

Equação 1

Onde:

P = período em anos;

FV = fator de veículo;

VMD = volume médio diário.

A partir dos dados concedidos pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, Serviços Públicos, Trânsito e Transporte, tornou-se possível determinar a frequência diária de veículos a partir da classificação estipulada no Manual de Pavimentação do DNIT. A Tabela 16 abaixo resume a contagem volumétrica de veículos, separando-as de acordo com o tipo de eixo.

Tabela 16. Frequência diária de veículos segundo a classificação do DNIT

VEÍCULO	CARGA POR EIXO (em toneladas)		EIXO DUPLO	EIXO TRIPLO	FREQUÊNCIA DIÁRIA
	EIXO SIMPLES				
	DIANTEIRO	TRASEIRO			
Caminhão Leve	3	5			86
Caminhão Basculante	5	9			63
Micro_ônibus	4	5			41
Ônibus	5	10			59
Caminhão Pesado	5		18		67
Semi-reboque	6		15	25	109
S	VMD				425

Fonte: Próprio autor

Com os valores da frequência diária dos veículos, foi possível calcular o Fator de Carga (FC), valor este que é função do tipo de eixo do veículo que trafega a

Rodovia TO-050 pela frequência com que este determinado veículo trafega. As equações 2 a 7 abaixo trazem as fórmulas para o cálculo do fator de carga em função do tipo de eixo. A Tabela 17 traz o resultado do cálculo de Fator de Carga em função da carga por eixo.

Dianteiro e traseiro simples – 0 a 8 tf

$$FC = 2,0782 * 10^{-4} * P^{4,0175} \quad \text{Equação 2}$$

Dianteiro e traseiro simples – ≥ 8 tf

$$FC = 1,8320 * 10^{-6} * P^{6,2542} \quad \text{Equação 3}$$

Tandem duplo – 0 a 11 tf

$$FC = 1,5920 * 10^{-4} * P^{3,472} \quad \text{Equação 4}$$

Tandem duplo – ≥ 11 tf

$$FC = 1,528 * 10^{-6} * P^{5,484} \quad \text{Equação 5}$$

Tandem triplo – 0 a 18 tf

$$FC = 8,0359 * 10^{-5} * P^{3,3549} \quad \text{Equação 6}$$

Tandem triplo – ≥ 18 tf

$$FC = 1,3229 * 10^{-7} * P^{5,5789} \quad \text{Equação 7}$$

Tabela 17. Fator de carga em função da carga por eixo

ORDEM	CARGA POR EIXO (t)			FC	FREQUÊNCIA	Fi	FC x Fi
	ES	ED	ET				
1	3			0.01716019	86	0.08958333	0.00153727
2	4			0.05450839	41	0.04270833	0.00232796
3	5			0.13359781	317	0.33020833	0.04411511
4	6			0.27791372	109	0.11354167	0.03155479
5	9			1.70195852	63	0.065625	0.11169103
6	10			3.28946651	59	0.06145833	0.20216513
7		15		4.30336139	109	0.11354167	0.48861082
8		18		11.6960111	67	0.06979167	0.81628411
9			25	8.32711439	109	0.11354167	0.94547445
				S=	960	FC=	2.64376066

Fonte: Próprio autor

Após a determinação do FC, tornou-se necessário determinar o Fator de Eixo (FE), que diz respeito ao número de repetições por eixo.

Com o valor do FE, foi possível calcular o Fator de Veículo, conforme expresso na Equação 8 abaixo. A determinação do Fator de Veículo (FV) é função das diferentes categorias de veículos. Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, veículos e caminhões leves são desprezíveis no cálculo do FV, tornando-se necessário apenas a contagem e classificação dos caminhões médios, pesados e reboques e semirreboques.

$$FV = FE * FC \quad \text{Equação 8}$$

$$FV = 2,2532 * 2,6438$$

$$FV = 5,957$$

Por fim, a partir da obtenção dos parâmetros necessários ao cálculo do número "N", foi possível determinar o seu valor conforme expresso na resolução abaixo.

$$N = 365 * P * VMD * FV \quad \text{Equação 9}$$

$$N = 365 * 10 * 425 * 5,957$$

$$N = 9,24 * 10^6$$

Com o resultado do número "N", é possível determinar a espessura mínima de revestimento betuminoso para o pavimento a ser projetado, conforme tabela padrão do Manual de Pavimentação do DNIT.

Tabela 18. Determinação da espessura mínima de revestimento betuminoso

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

7.3.2 Dimensionamento segundo o método empírico do DNIT

Conforme descrito no Manual de Pavimentação do DNIT, o método de dimensionamento do DNER visa proteger o subleito da geração de deformações ocasionadas durante a vida útil de projeto da rodovia. Deste modo, após a determinação do número “N” e a realização dos ensaios de CBR, foi possível realizar o dimensionamento das camadas do pavimento seguindo o método do DNER. A equação geral para o cálculo da altura das camadas está expressa na Equação 10 abaixo.

$$H_t = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598} \quad \text{Equação 10}$$

Para os valores de CBR necessários à aplicação na equação da altura total do revestimento, foi adotado o valor médio obtido através dos resultados das amostras coletadas. Sendo assim, a Tabela 19 abaixo traz o resumo das médias dos resultados do ensaio de CBR.

Tabela 19. Média dos ensaios de CBR

AMOSTRA	CBRbase	CBRsub-base	CBRsubleito
A01	61,8%	56,7%	29,2%
A02	62,3%	58,5%	28,3%
MÉDIA FINAL	62,05%	57,60%	28,75%

Fonte: Próprio autor.

Aplicando a Equação 10 para o cálculo do reforço do subleito (H_n), foi obtido o seguinte resultado.

$$H_n = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598} \quad \text{Equação 11}$$

$$H_n = 77,67 * 9240000^{0,0482} * 0,2875^{-0,598}$$

$$H_n = 22,58 \text{ cm}$$

Aplicando a inequação a seguir para a determinação da espessura da camada, foi obtido o seguinte resultado.

$$H_n - (K_1 * E) > 15cm$$

$$22,58 - (2 * 7,5) > 15cm$$

$$7,58 > 15cm$$

O valor de K_1 foi adotado conforme tabela padrão presente no Manual de Pavimentação do DNIT, tabela 31, página 146.

Tabela 20. Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes do Pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2.00
Base ou revestimento pr-misturado a quente, de graduação densa	1.70
Base ou revestimento pr-misturado a frio, de graduação densa	1.40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1.20
CAMADAS GRANULARES (SOLO)	1.00
solo cimento com resistencia à compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm	1.70
solo cimento com resistencia à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1.40
solo cimento com resistencia à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1.20

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

Como observado acima, a espessura não atingiu o mínimo exigido pela inequação, sendo assim, o DNIT estipula que a espessura mínima construtiva a ser adotada para estas camadas é de 15cm quando não atingidos os valores mínimos. Logo, a espessura da camada de sub-base a ser adotada é de 15 cm.

Para o dimensionamento da camada da base, foi necessário calcular em um primeiro momento, o valor da espessura de pavimento sobre a sub-base (H_{20}).

$$H_{20} = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598} \quad \text{Equação 12}$$

$$H_{20} = 77,67 * 9240000^{0,0482} * 0,576^{-0,598}$$

$$H_{20} = 14,90 \text{ cm}$$

Aplicando a inequação a seguir para a determinação da espessura da camada, foi obtido o seguinte resultado.

$$H_{20} - (K_1 * E) > 15cm$$

$$14,90 - (1,70 * 7,5) > 15cm$$

2,15 > 15cm

O valor de K_2 foi adotado conforme tabela padrão presente no Manual de Pavimentação do DNIT, tabela 31, página 146.

Componentes do Pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2.00
Base ou revestimento pr-misturado a quente, de graduação densa	1.70
Base ou revestimento pr-misturado a frio, de graduação densa	1.40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1.20
CAMADAS GRANULARES (SOLO)	1.00
solo cimento com resistencia à compressão a 7 dias, superior a 45kg/cm	1.70
solo cimento com resistencia à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1.40
solo cimento com resistencia à compressão a 7 dias, entre 45kg/cm e 28kg/cm	1.20

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

Como observado acima, a espessura não atingiu o mínimo exigido pela inequação tal como ocorreu com a camada de sub-base, logo, a espessura da camada da base a ser adotada é de 15 cm.

Para o reforço do subleito não foi necessário o dimensionamento pelo fato de que o valor de CBR do subleito ter sido acima de 6%, conforme preconizado no Manual de Pavimentação do DNIT.

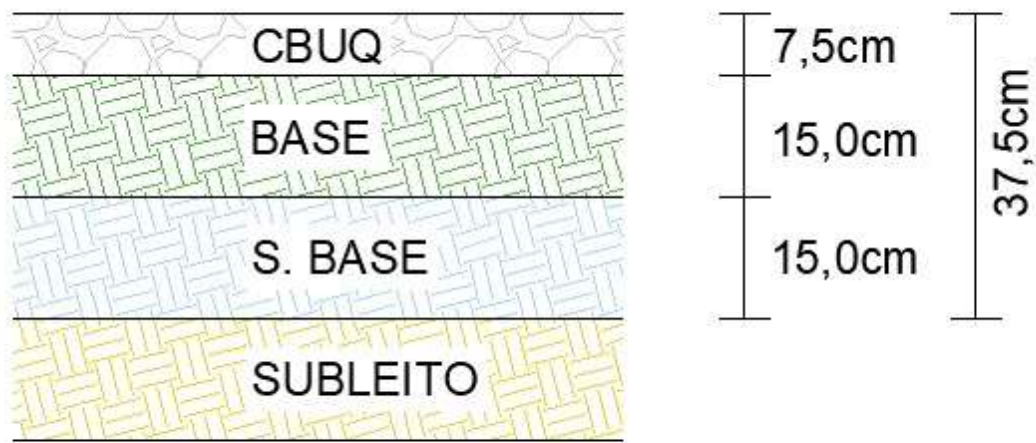
A Tabela 21 abaixo e a Figura 40 trazem respectivamente, o resumo das espessuras das camadas dimensionadas pelo método do DNER e a projeção do perfil transversal do pavimento com as devidas espessuras.

Tabela 21. Resumo do dimensionamento pelo método DNER

DIMENSIONAMENTO DNER						
CAMADA	"N"	H20	Hn	Hm	ESPESSURA DA CAMADA	CBR (%)
Base	CBUQ 7,5 CM	14.902801	-	-	15,0	61.8
Sub-Base		-	22.5805811	-	15,0	57.6
Reforço do Subleito		-	-	-	-	-
Subleito		-	-	-	-	28.75
Esp. Revestimento	7.5	Altura Total Pav.			37,5	

Fonte: Próprio autor

Figura 40. Diferenciação das camadas do pavimento flexível da TO - 050



Fonte: Próprio autor

8 CONCLUSÕES

Após a realização da visita técnica ao local, a realização dos ensaios necessários ao dimensionamento do pavimento e o efetivo dimensionamento do pavimento asfáltico flexível, pode-se afirmar que os resultados encontrados estão em concordância com o Manual de Pavimentação do DNIT, tendo em vista o dimensionamento pelo método empírico descrito no manual. É evidente que foram realizadas simplificações na quantidade de ensaios realizados dada a dificuldade operacional. Diante disso, é possível observar as seguintes conclusões a respeito do dimensionamento do pavimento flexível.

- O modelo de dimensionamento descrito pelo Manual de Pavimentação do DNIT se mostrou consistente para o dimensionamento do pavimento da Rodovia TO – 050;
- No que diz respeito aos ensaios de pavimentação, vale destaque para os resultados dos ensaios de umidade da base e sub-base da amostra 01, retirada a partir de uma janela de inspeção à 38,4 km de Palmas, tiveram seus valores fora do desvio de umidade, apresentando variações acima de 7%, ou seja, fora do limite recomendável de 2% para mais ou para menos, indicando uma tendência de ramo seco;
- Foi possível perceber a partir da visita técnica realizada, que o pavimento da rodovia em questão apresenta um sistema de Tratamento Superficial Duplo, método de pavimentação muito comum no Brasil por ser de rápida execução e com custos relativamente baixos, e tem como principal ponto o fato de não possuir características estruturais;
- A partir da realização dos ensaios de pavimentação executados pôde-se concluir que a Rodovia Coluna Prestes na área mapeada, não possui capacidade estrutural para suportar o atual tráfego de veículos sobre ela, visto que a interdição da Ponte de Porto Nacional, a antiga rota para o fluxo de veículos pesados, encontra-se interditada decorrente ao surgimento de

patologias, na ponte de Porto Nacional – TO conforme mencionado anteriormente.

- Por fim, a partir dos dados levantados ficou definido que a camada asfáltica a ser executada deve possuir espessura mínima de 7,5 cm em concreto betuminoso usinado a quente para que a estrutura do pavimento suporte as deformações impostas pelo tráfego de caminhões pesados, situação atual desse trecho da via.

9 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Coletar mais amostras ao longo do trecho para melhor caracterização na busca de alternativas financeiramente viáveis para sanar os problemas da via;
- Verificar através de dados financeiros a alternativa Recuperação da Ponte de Porto Nacional/ BR 153 ou reparação/ melhorias operacionais na Rodovia “Coluna Prestes”, de maneira a elencar qual obra realizar primeiro, pois ambas são necessárias;
- A infraestrutura urbana da malha de transporte passa por portos/ aeroportos, ferrovias, hidrovias, entretanto a malha viária une todos eles e precisa ser corrigida para atender as novas solicitações de cargas.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **Guide For Design Of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials**, Washington, D.C., U.S.A., 1993.

AASHTO. **Guide For Design Of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials**, Washington, D.C., U.S.A., 2002.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BASTOS, J. B. S. **Influência da Variação da Umidade no Comportamento de Pavimentos da Região Metropolitana de Fortaleza**. 2013. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) -Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 2ª Edição, São Paulo, Fazendo Arte Editorial, 2001.

BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo; SANTOS, Luís Picado. **Pavimento Rodoviário Almedina** Coimbra, Portugal, 2008.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA L. M. G.; CERATTI J. A. P.; SOARES J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. XX f: Il.

CASTRO, Bruno Almeida Cunha de, “**CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS E VIAS URBANAS**”. Notas de Aula – Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais. 2000.

DE ALMEIDA, Brivaldo Gomes et al. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. **Embrapa Solos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2012.

DE OLIVEIRA, Sérgio et al. **Sistema de coleta e disseminação de dados de trânsito**. 2013.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Estudo de Tráfego**. IPR-723. 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Terminologia rodoviária usualmente utilizada**. Distrito Federal, 2007.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. - 005/2003. Revisão da norma DNER - TER 001/78. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Diretoria de Planejamento e Pesquisa Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. - 3 ed. - Rio de Janeiro, 274p. (IPR. Publ., 719). 2006.

FERNANDES, Wagner Dambrós. **Análise Comparativa entre os Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do Brasil e o Método da AASHTO**. 2014. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FOSTER. **Design Curves for Single Whell Loads**. ASCE Transactions 115. 1950.

FONTES.L.P.T. **Fadiga dos Revestimentos. Biblioteca do Asfalto, Blog Fatos & Asfaltos**, 2012, p.4-5. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/blog/category/biblioteca-do-asfalto/>. Acesso: fev,2020.

FRANCO. F. **Método Dimensionamento Mecânico – Empírico de Pavimentos Asfáltico** – Sis Pav.2007. 315p. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação, Rio de Janeiro.

FRANCO, F.A.C.P. (2000). **Um Sistema para Análise Mecânica de Pavimentos Asfálticos**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro

GRECO, J. A. S. (2012). **Cargas Rodoviárias e Tráfego**. Notas de Aula – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~jisela/>>. Acesso em: 04 janeiro 2020.

HUANG, Y. H., 1993, **Pavements Analysis and Design**. Prentice Hall Inc. New Jersey, E.U.A.

LEKARP, F.; ISACSSON, U. e DAWSON, A., 2000a, “**State of The Art. I: Resilient Response of Unbound Aggregates**”, Journal of Transportation Engineering ASCE, Vol. 126 (1), pp. 66-75, Jan/Feb.

LEKARP, F.; ISACSSON, U. e DAWSON, A., 2000b. “**State of The Art. II: Permanent Strain response of unbound aggregates**”, Journal of Transportation Engineering ASCE, Vol. 126 (1), pp. 76-83, Jan/Feb.

MAMLOUK S. M. e SAROFIM T. R., 1989, **The Modulus of Asphalt Mixtures - An Unresolved Dilemma**. Transp. Res. Rec. 1171, Transportation Research Board, Washington, pp. 193-198.

MARQUES, Prof. Geraldo Luciano de Oliveira. **Dimensionamento de Pavimentos – Método do DNER**. Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia – Departamento de Transporte s e Geotecnia TRN 032 – Pavimentação – UFJF em notas de aula. 2004.

Marques, G. B. (2011) “**Análise de Pavimento Flexível: estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-421**”, Trabalho de Conclusão de Curso – UNIVATES, Lajeado.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1993.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1997.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.

MINHOTO, M. J. (2005). "**Consideração da Temperatura no Comportamento à reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**". Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães;

MOTTA, L.M.G., 1979, **O Estudo da Temperatura em Revestimentos Betuminosos**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

MOTTA, L. M. G. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas**. 1991. 366p. Tese (Doutorado em ciências em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOTTA, L.M.G. e LEITE, L.F.M., 2002, "**Desempenho de Trechos de Pavimentos Observados nos Últimos 10 anos**". In: 16º Encontro de Asfalto do IBP, 2002, Rio de Janeiro. Anais do 16º Encontro de Asfalto, v. cd.

MOTTA, L. M. G.e MEDINA, J., 2006, "**Investigação e Desenvolvimento em Mecânica dos Pavimentos na COPPE – Brasil**". Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, Portugal, n. 26, p.85-97, maio. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/revista.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

NETO, Rogério S. Bezerra. **Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados Através dos Métodos Empírico do DNER Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (MS)**. Dissertação de Mestrado. USP – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 2004.

PEREIRA, Deividi, **Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis introdução ao**

Método da Resiliência Principais Propriedades Mecânica dos Materiais de Pavimentação. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM Depto. Transportes Infra-Estrutura de Transportes – Notas de aula em www.ufsm.br. 2008.

PEREIRA, P., & MIRANDA, V. (1999a). "**Gestão da Conservação de Pavimentos - Os métodos e programas de apoio à gestão dos pavimentos da rede rodoviária nacional**". Centro Rodoviário Português (C.R.P). Lisboa.

PINTO, S., 1991, **Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RODRÍGUEZ MORENO, Mario Alberto et al. **Determinación de la confiabilidad implícita en el método de diseño estructural de pavimentos flexibles AASHTO-93 en base a modelos de predicción del deterioro**. 2014.

SANTOS, J.D.G., 1998, **Contribuição ao Estudo dos Solos Lateríticos Granulares como camada de pavimento**. Tese de D.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de Pavimentação**. Vol. 1.. São Paulo: Pini, 746 p. 1997.

SOARES, Jorge Barbosa; MOTTA, L. M. Considerações sobre a Determinação do Fator de Veículo no Cálculo do Número N. In: **Congresso de Ensino e Pesquisa e Ensino em Transportes**. 2001. p. 381-389.

SOUSA, Pedro Miguel Lopes Pepe de. **Limite de liquidez: correlações e comparações entre os métodos de fall cone e da concha de casagrande**. 2011. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de Projeto de pavimentos flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ipr, 1981. 34 p.

SOUZA, Ricardo Andrade de et al. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia-MG**. 2007.

SPADA, Jorge Luís Goudene. **MECÂNICA DOS PAVIMENTOS APLICADA AO ENTENDIMENTO DO MECANISMO DE COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DA VIA FÉRREA**. 2003. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

APÊNDICE A

Relatório do ensaio normal de compactação

Tabela 22. Ensaio de compactação da amostra 01 - subleito

Obra: <u>TO-050</u>		Seg. <u>0</u>	
Rodovia: <u>PALMAS A PORTO NACIONAL</u>			
Trecho: <u>KM. 38,4</u>			
Sub-trecho: <u>SUB-LEITO</u>		Data: <u>3/21/21</u>	
EST.	Furo <u>1</u>	Prop: <u>EX</u>	Prof: <u>0.20</u> a

COMPACTAÇÃO				DNER-ME 129/94	
% Ret # 4:	42.2	Proctor:	NORMAL	Golpes:	12
Calculador:		DANIEL		Operador:	
		DANIEL			

Material: <u>LATERITA VERMELHA</u>		Umidade Higroscópica			
Anotações		Cápsula	Nº	18	9
		C+S+A	g	86.2	88.9
		C+S	g	84.8	87.7
		A- Água	g	1.4	1.2
		C- Cápsula	g	14.1	13.9
		S- Solo	g	70.7	73.8
		Umidade	%	2.0	1.6
		Umidade Média	%	1.8	

Compactação										
Água Adicionada	g	300	420	540	660	780	Peso do Material			
% Água Adicionada	%	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	6000			
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco			
Umidade Calculada	%	6.8	8.8	10.8	12.8	14.8	5,893.7			
Molde	Nº	2	3	5	6	9	Nº	Volume	Altura	
M+S+A	g	8,577	8,721	9,022	9,016	9,022	2	2.078	114.5	
M- Molde	g	4,696	4,692	4,822	4,845	4,883	3	2.078	114.5	
S+A	g	3,881	4,029	4,200	4,171	4,139	5	2.078	114.5	
Densidade Úmida	Kg/m³	%	1,868	1,939	2,021	2,007	1,992	6	2.078	114.5
Densidade Convertida	Kg/m³	%	1,779	1,812	1,854	1,808	1,763	9	2.078	114.5
Densidade seca	Kg/m³	%	1,749	1,782	1,824	1,779	1,735			

EXP %

ISC %

Densidade (Kg/m³)

D.max:	1,824	Kg/m³
H.ót.	10.8	%
I.S.C.	29.2	%
EXP.	0.08	%

ISC %	EXP %
20.2	0.10
29.2	0.08
18.1	0.19

Observação

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 23. Ensaio de compactação da amostra 01 - sub-base

Obra: <u>TO-050</u>	
Rodovia: <u>0</u>	Seg. <u>0</u>
Trecho: <u>PALMAS A PORTO NACIONAL</u>	
Sub-trecho: <u>KM. 38.4</u>	
Estudo: <u>SUB-BASE</u>	
Estaca: _____	Furo: <u>2</u>
Date: <u>3/21/21</u>	Prop: <u>0.0%</u> Prof: <u>0.20</u> a <u>0.00</u>

COMPACTAÇÃO				DNER-ME 129/94
% Ret # 4:	49.9	Proctor:	Intermediário	Golpes: 26 Calculador: DANIEL Operador: DANIEL

Material: CASCALHO LAT. VERMELHO		Umidade Higroscópica	
Anotações		Cápsula	Nº 1 4
		C+S+A	g 67.5 69.8
		C+S	g 66.9 69.4
		A- Água	g 0.6 0.4
		C- Cápsula	g 13.5 13.2
		S- Solo	g 53.4 56.3
		Umidade	% 1.1 0.7
		Umidade Média	% 0.9

Compactação						
Água Adicionada	g	360	480	600	720	840
% Água Adicionada	%	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0
Umidade Calculada	%	6.9	8.9	10.9	12.9	14.9
Molde	Nº	8	9	10	11	12
M+S+A	g	8,994	9,277	9,432	9,301	9,223
M- Molde	g	4,835	4,883	4,849	4,827	4,803
S+A	g	4,159	4,394	4,583	4,474	4,420
Densidade Úmida	Kg/m³	% 1,997	2,115	2,205	2,153	2,136
Densidade Convertida	Kg/m³	% 1,884	1,958	2,005	1,922	1,874
Densidade seca	Kg/m³	% 1,867	1,941	1,988	1,907	1,859

The figure contains three graphs related to soil compaction. The top graph plots 'EXP %' (0.00 to 1.00) against 'Umidade %' (0.0 to 14.0), showing a single data point at approximately (10.9, 0.00). The middle graph plots 'ISC %' (0.0 to 60.0) against 'Umidade %' (0.0 to 14.0), showing a peak at approximately (10.9, 55.9). The bottom graph plots 'Densidade (Kg/m³)' (1,840 to 2,000) against 'Umidade %' (0.0 to 16.0), showing a bell-shaped curve with a peak at approximately (10.9, 1,988). Data points are labeled with their respective density values: 1,867, 1,941, 1,988, 1,907, and 1,859.

D.max:	1,990	Kg/m³
H.ót.	10.6	%
I.S.C.	56.7	%
EXP.	0.00	%

ISC %	EXP %
51.6	0.00
55.9	0.00
37.6	0.00

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 24. Ensaio de compactação da amostra 01 - base

Obra: <u>TO-050</u>		Seg: <u>TCC</u>	
Rodovia: <u>0</u>		Trecho: <u>PALMAS A PORTO NACIONAL</u>	
Sub-trecho: <u>KM. 38.4</u>		Estudo: <u>BASE</u>	
Estaca: _____	Furo: <u>3</u>	Data: <u>3/21/21</u>	Prop: <u>0.0%</u> Prof: <u>0.18</u> a <u>0.00</u>

COMPACTAÇÃO				DNER-ME 129/94
% Ret # 4:	56.6	Proctor:	Intermediário	Golpes: 26 Calculador: DANIEL Operador: DANIEL

Material: <u>CASCALHO LATERITICO AR.</u>		Umidade Higroscópica	
Anotações		Cápsula	Nº 18 1
		C+S+A	g 83.3 81.1
		C+S	g 82.1 80.1
		A- Água	g 1.2 1.0
		C- Cápsula	g 14.1 13.5
		S- Solo	g 68.0 66.6
		Umidade	% 1.8 1.5
		Umidade Média	% 1.6

Compactação							
Água Adicionada	g	280	400	520	640	760	Peso do Material
% Água Adicionada	%	4.7	6.7	8.7	10.7	12.7	6000
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco
Umidade Calculada	%	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	5,903.6
Molde	Nº	2	1	4	5	6	Nº
M+S+A	g	8,945	9,266	9,433	9,445	9,455	2
M- Molde	g	4,696	4,820	4,825	4,822	4,845	1
S+A	g	4,249	4,446	4,608	4,623	4,610	4
Densidade Úmida	Kg/m³	% 2,045	2,140	2,218	2,225	2,218	5
Densidade Convertida	Kg/m³	% 1,954	2,006	2,041	2,010	1,969	6
Densidade seca	Kg/m³	% 1,924	1,976	2,010	1,981	1,941	

EXP %

ISC %

Densidade (Kg/m³)

Umidade %

D.max: 2.010 Kg/m³

H.ót: 10.4 %

I.S.C.: 61.8 %

EXP: 0.00 %

ISC % EXP %

55.2 0.00

62.4 0.00

36.6 0.00

Observação

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 25. Ensaio de compactação da amostra 02 - subleito

Obra: <u>TO-050</u>	
Rodovia: <u>0</u>	Seg. <u>TCC</u>
Trecho: <u>PALMAS A PORTO NACIONAL</u>	
Sub-trecho: <u>KM 48.6</u>	PROXIMO POSTO
Estudo: <u>SUB-LEITO</u>	Data: <u>3/22/21</u>
Est/furo: _____	Furo <u>4</u> Prop: <u>0.0%</u> Prof: <u>0.00</u> a <u>0.00</u>

COMPACTAÇÃO				DNER-ME 129/94
% Ret # 4:	48.9	Proctor:	NORMAL	Golpes: 26 Calculador: DANIEL Operador: VIANA

Material: <u>LATERITA VERMELHA</u>		Umidade Higroscópica	
Anotações		Cápsula	Nº 1 4
		C+S+A	g 87.5 90.0
		C+S	g 86.5 89.0
		A- Água	g 1.0 1.0
		C- Cápsula	g 13.5 13.2
		S- Solo	g 73.0 75.9
		Umidade	% 1.4 1.3
		Umidade Média	% 1.3

Compactação							
Água Adicionada	g	300	420	540	660	780	Peso do Material
% Água Adicionada	%	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	6000
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco
Umidade Calculada	%	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	5,921.2
Molde	Nº	16	17	18	19	20	Nº Volume Altura
M+S+A	g	8,431	8,894	8,556	8,855	8,534	16 2,084 114.1
M- Molde	g	4,505	4,806	4,279	4,640	4,350	17 2,080 114.5
S+A	g	3,926	4,088	4,277	4,215	4,184	18 2,112 114.4
Densidade Úmida	Kg/m³	% 1,884	1,965	2,025	2,032	2,004	19 2,074 114.3
Densidade Convertida	Kg/m³	% 1,794	1,837	1,858	1,831	1,773	20 2,088 114.3
Densidade seca	Kg/m³	% 1,772	1,814	1,835	1,809	1,753	

EXP %

ISC %

Densidade (Kg/m³)

Umidade %

D.max: 1,836 Kg/m³

H.ót: 10.3 %

I.S.C.: 28.3 %

EXP: 0.10 %

ISC %	EXP %
20.2	0.16
28.3	0.10
18.6	0.19

Observação

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 26. Ensaio de compactação da amostra 02 - sub-base

Obra: <u>TO-050</u>		Seg. <u>TCC</u>	
Rodovia: <u>0</u>		Trecho: <u>PALMAS A PORTO-NACIONAL</u>	
Sub-trecho: <u>KM</u>		Prox. Porto: <u>PROX. PORTO</u>	
Estudo: <u>SUB-BASE</u>		Data: <u>3/22/21</u>	
Estaca: <u>0</u>	Furo: <u>5</u>	Prop: <u>0.0%</u>	ProL: <u>0.00</u> a <u>0.00</u>

COMPACTAÇÃO				DNER-ME 129/94
% Ret # 4:	50.5	Proctor:	Intermediário	Golpes: 26 Calculador: DANIEL Operador: DANIEL

Material: CASCALHO LAT. VERMELHO		Umidade Higroscópica	
Anotações	Cápsula	Nº	1 13
	C+S+A	g	77.1 79.9
	C+S	g	76.4 79.2
	A- Água	g	0.7 0.7
	C- Cápsula	g	13.5 14.3
	S- Solo	g	62.9 64.9
	Umidade	%	1.1 1.1
	Umidade Média	%	1.1

Compactação								
Água Adicionada	g	300	420	540	660	780	Peso do Material	
% Água Adicionada	%	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	6000	
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco	
Umidade Calculada	%	6.1	8.1	10.1	12.1	14.1	5,934.0	
Molde	Nº	21	22	23	2	9	Nº Volume Altura	
M+S+A	g	8,623	9,035	9,177	9,300	9,477	21 2.066 114.3	
M- Molde	g	4,420	4,673	4,575	4,696	4,883	22 2.063 114.0	
S+A	g	4,203	4,362	4,602	4,604	4,594	23 2.074 114.3	
Densidade Úmida	Kg/m³	%	2,034	2,114	2,219	2,216	2,211	2 2.078 114.5
Densidade Convertida	Kg/m³	%	1,937	1,976	2,036	1,996	1,956	9 2.078 114.5
Densidade seca	Kg/m³	%	1,917	1,956	2,015	1,976	1,937	

D.max: 2.016 Kg/m³

H.ót: 10.3 %

I.S.C.: 58.5 %

EXP: 0.00 %

ISC %	EXP %
48.1	0.00
59.2	0.00
38.1	0.00

Observação

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 27. Ensaio de compactação da amostra 02 - base

Obra: <u>TO-050</u>	
Rodovia: <u>0</u>	Seg. <u>TCC</u>
Trecho: <u>PALMAS A PORTO-NACIONAL</u>	
Sub-trecho: <u>KM 48.6</u>	PROX. POSTO
Estudo: <u>BASE</u>	Data: <u>3/22/21</u>
Est/furo: _____	Furo <u>6</u> Prop: <u>0.0%</u> Prof: <u>0.00</u> a <u>0.00</u>

COMPACTAÇÃO				DNER-ME 129/94
% Ret # 4:	53.1	Proctor:	Intermediário	Golpes: 26 Calculador: DANIEL Operador: DANIEL

Material: <u>CASCLHO LAT. VERMELHO.</u>																																					
Anotações	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">Umidade Higroscópica</th> </tr> <tr> <td>Cápsula</td> <td>Nº</td> <td>4</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>C+S+A</td> <td>g</td> <td>87.7</td> <td>88.9</td> </tr> <tr> <td>C+S</td> <td>g</td> <td>86.7</td> <td>88.0</td> </tr> <tr> <td>A- Água</td> <td>g</td> <td>1.0</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>C- Cápsula</td> <td>g</td> <td>13.2</td> <td>14.1</td> </tr> <tr> <td>S- Solo</td> <td>g</td> <td>73.6</td> <td>73.9</td> </tr> <tr> <td>Umidade</td> <td>%</td> <td>1.3</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>Umidade Média</td> <td>%</td> <td colspan="2">1.3</td> </tr> </table>	Umidade Higroscópica				Cápsula	Nº	4	18	C+S+A	g	87.7	88.9	C+S	g	86.7	88.0	A- Água	g	1.0	0.9	C- Cápsula	g	13.2	14.1	S- Solo	g	73.6	73.9	Umidade	%	1.3	1.2	Umidade Média	%	1.3	
Umidade Higroscópica																																					
Cápsula	Nº	4	18																																		
C+S+A	g	87.7	88.9																																		
C+S	g	86.7	88.0																																		
A- Água	g	1.0	0.9																																		
C- Cápsula	g	13.2	14.1																																		
S- Solo	g	73.6	73.9																																		
Umidade	%	1.3	1.2																																		
Umidade Média	%	1.3																																			

Compactação							
Água Adicionada	g	300	420	540	660	780	Peso do Material
% Água Adicionada	%	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	6000
Umidade Adicionada	g	0	0	0	0	0	Peso do Material Seco
Umidade Calculada	%	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	5,924.4
Molde	Nº	24	25	27	28	29	Nº Volume Altura
M+S+A	g	9,000	8,875	8,567	8,200	8,689	24 2,074 114.3
M- Molde	g	4,660	4,381	4,065	3,460	4,130	25 2,077 114.3
S+A	g	4,340	4,494	4,502	4,740	4,559	27 2,014 111.0
Densidade Úmida Kg/m³	%	2,093	2,164	2,235	2,238	2,244	28 2,118 114.5
Densidade Convertida Kg/m³	%	1,993	2,022	2,051	2,016	1,985	29 2,032 114.0
Densidade seca Kg/m³	%	1,969	1,998	2,027	1,993	1,963	

EXP %

ISC %

Densidade (Kg/m³)

D.max: 2,027 Kg/m³

H.ót: 10.2 %

I.S.C.: 62.3 %

EXP: 0.00 %

ISC %	EXP %
49.3	0.00
61.9	0.00
28.1	0.00

Observação

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

APÊNDICE B

Relatório do ensaio de CBR e expansão

Tabela 28. Ensaio de CBR e expansão da amostra 01 - subleito

Obra:		TO-050	
Rodovia:		0	
Seg:		TCC	
Trecho:		PALMAS A PORTO NACIONAL	
Sub-trecho:		KM 38.4	
Estudo:		SUB-LEITO	
Data:		3/21/21	
Estaca:		Furo: 1	
Prop:		EX	
Prof:		0.20 a	

Material: LATERITA VERMELHA						
ENSAIO DE EXPANSÃO						
DNER-ME029-94						
Molde N.º 3						
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	
21/3	114.5	9:00	1.00	0.00	0.00	
22/3		9:00		-1.00	-0.87	
23/3		9:00		-1.00	-0.87	
24/3		9:00	1.12	0.12	0.10	

Molde N.º 5						
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	
21/3	114.5	9:00	1.00	0.00	0.00	
22/3		9:00		-1.00	-0.87	
23/3		9:00		-1.00	-0.87	
24/3		9:00	1.09	0.09	0.08	

Molde N.º 6						
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	
21/3	114.5	9:00	1.00	0.00	0.00	
22/3		9:00		-1.00	-0.87	
23/3		9:00		-1.00	-0.87	
24/3		9:00	1.22	0.22	0.19	

Constante do Anel: 0.1025						
ENSAIO DE I.S.C.						
DNER-ME049-94						
Penet mm						
Temp Min	Leitura Extens	Pressão Kg/cm²	Pres. Padr Kg/cm²	ISC %	ISC Corr	
0.63	0.5	19	1.9			
1.27	1.0	39	4.0			
1.90	1.5	68	7.0			
2.54	2.0	100	10.3	70.31	14.6	17.3
3.81	3.0	144	14.8			
5.08	4.0	189	19.4	105.46	18.4	20.2
6.35	5.0	234	24.0			
7.62	6.0	271	27.8			
8.89	7.0					
10.16	8.0					
11.43	9.0					
12.70	10.0					

Penet mm						
Temp Min	Leitura Extens	Pressão Kg/cm²	Pres. Padr Kg/cm²	ISC %	ISC Corr	
0.63	0.5	28	2.9			
1.27	1.0	66	6.8			
1.90	1.5	100	10.3			
2.54	2.0	156	16.0	70.31	22.7	26.6
3.81	3.0	200	20.5			
5.08	4.0	266	27.3	105.46	25.9	29.2
6.35	5.0	323	33.1			
7.62	6.0	370	37.9			
8.89	7.0					
10.16	8.0					
11.43	9.0					
12.70	10.0					

Penet mm						
Temp Min	Leitura Extens	Pressão Kg/cm²	Pres. Padr Kg/cm²	ISC %	ISC Corr	
0.63	0.5	15	1.5			
1.27	1.0	31	3.2			
1.90	1.5	56	5.7			
2.54	2.0	89	9.1	70.31	13.0	16.8
3.81	3.0	130	13.5			
5.08	4.0	163	16.7	105.46	15.8	18.1
6.35	5.0	199	20.4			
7.62	6.0	235	24.1			
8.89	7.0					
10.16	8.0					
11.43	9.0					
12.70	10.0					

2º PONTO

3º PONTO

4º PONTO

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 29. Ensaio de CBR e expansão da amostra 01 - sub-base

Obra:		TO-050	
Rodovia:		0	
Seg:		0	
Trecho:		PALMAS A PORTO NACIONAL	
Sub-trecho:		KM. 38.4	
Estudo:		SUB-BASE	
Data:		3/21/21	
Estaca:		Furo: 2	
Prop:		0	
Prof:		0.18 a 0.90	

Material: CASCALHO LAT. VERMELHO						
ENSAIO DE EXPANSÃO						
DNER-ME029-94						
Molde N.º 9						
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	
21/3	114.5	17:37	1.00	0.00	0.00	
22/3	17:37			-1.00	-0.87	
23/3	17:37			-1.00	-0.87	
24/3	17:37		1.00	0.00	0.00	

Molde N.º 10						
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	
21/3	114.5	17:37	1.00	0.00	0.00	
22/3	17:37			-1.00	-0.87	
23/3	17:37			-1.00	-0.87	
24/3	17:37		1.00	0.00	0.00	

Molde N.º 11						
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%	
21/3	114.5	17:37	1.00	0.00	0.00	
22/3	17:37			-1.00	-0.87	
23/3	17:37			-1.00	-0.87	
24/3	17:37		1.00	0.00	0.00	

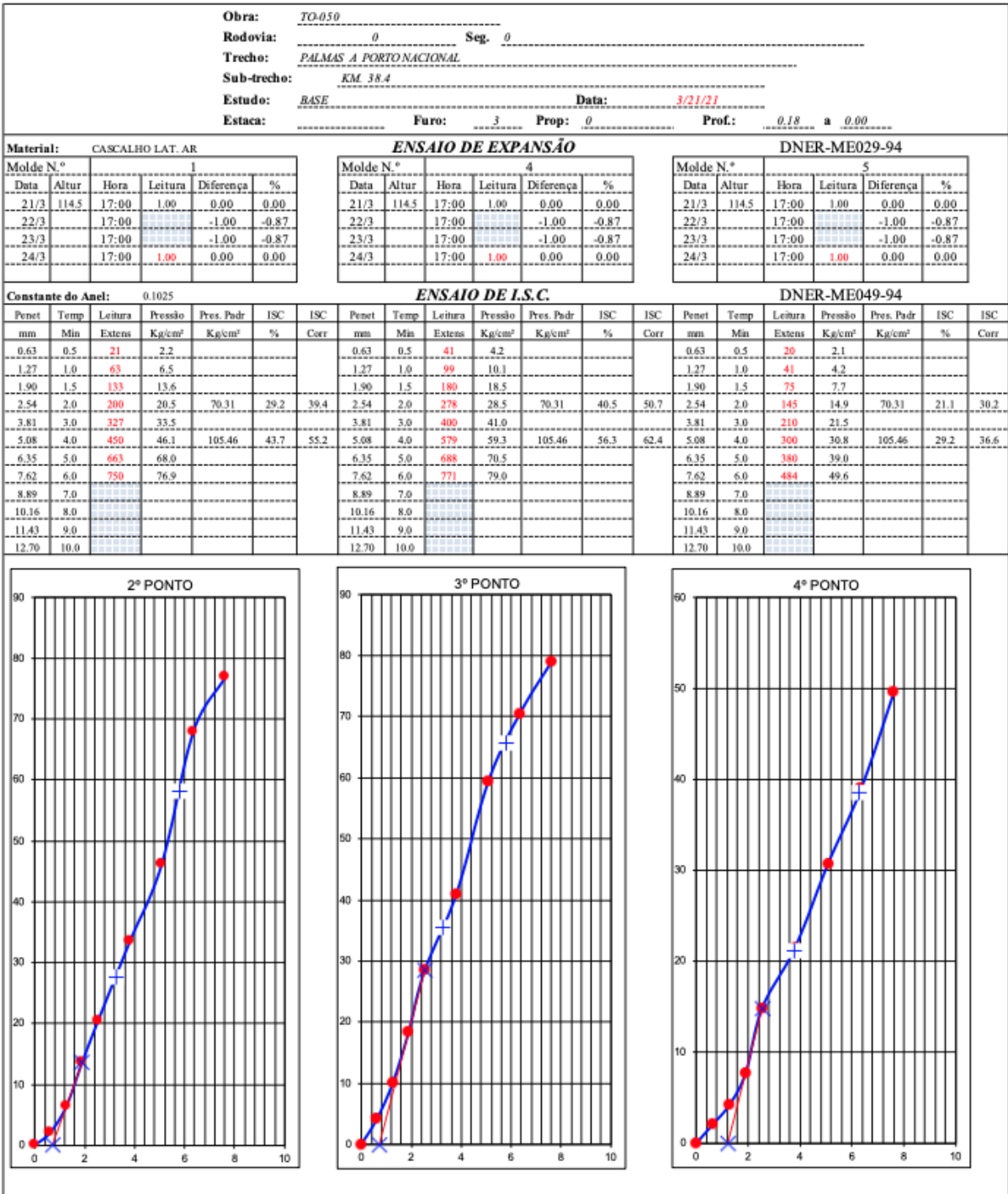
Constante do Anel: 0.1025													
ENSAIO DE I.S.C.													
DNER-ME049-94													
Penet	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	ISC	ISC	Penet	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	ISC	ISC
mm	mm	Extens	Kg/cm²	Kg/cm²	%	Corr	mm	mm	Extens	Kg/cm²	Kg/cm²	%	Corr
0.63	0.5	29	3.0				0.63	0.5	40	4.1			
1.27	1.0	68	7.0				1.27	1.0	98	10.0			
1.90	1.5	142	14.6				1.90	1.5	177	18.1			
2.54	2.0	223	22.9	70.31	32.5	43.8	2.54	2.0	255	26.1	70.31	37.2	44.7
3.81	3.0	349	35.8				3.81	3.0	389	39.9			
5.08	4.0	458	46.9	105.46	44.5	51.6	5.08	4.0	533	54.6	105.46	51.8	55.9
6.35	5.0	577	59.1				6.35	5.0	641	65.7			
7.62	6.0	677	69.4				7.62	6.0	755	75.3			
8.89	7.0						8.89	7.0					
10.16	8.0						10.16	8.0					
11.43	9.0						11.43	9.0					
12.70	10.0						12.70	10.0					

2º PONTO													

3º PONTO													

4º PONTO													

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)



Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 31. Ensaio de CBR e expansão da amostra 02 - subleito

Obra:		TO-050	
Rodovia:		0	
Seg.:		TCC	
Trecho:		PALMAS A PORTO NACIONAL	
Sub-trecho:		KM	
Estudo:		SUB-LEITO	
Data:		3/22/21	
Estaca:		Furo: 4	
Prop:		0	
Prof.:		0.00 a 0.00	

Material: LATERITA - VERMELHA					
ENSAIO DE EXPANSÃO					
DNER-ME029-94					
Molde N.º 17					
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
22/3	114.5	17:37	1.00	0.00	0.00
23/3	17:37			-1.00	-0.87
24/3	17:37			-1.00	-0.87
25/3	17:37		1.18	0.18	0.16

Molde N.º 18					
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
22/3	114.4	17:37	1.00	0.00	0.00
23/3	17:37			-1.00	-0.87
24/3	17:37			-1.00	-0.87
25/3	17:37		1.11	0.11	0.10

Molde N.º 19					
Data	Altur	Hora	Leitura	Diferença	%
22/3	114.3	17:37	1.00	0.00	0.00
23/3	17:37			-1.00	-0.87
24/3	17:37			-1.00	-0.87
25/3	17:37		1.22	0.22	0.19

Constante do Anel: 0.1025					
ENSAIO DE I.S.C.					
DNER-ME049-94					
Penet	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	ISC
mm	Min	Extens	Kg/cm²	Kg/cm²	%
0.63	0.5	17	1.7		
1.27	1.0	41	4.2		
1.90	1.5	87	8.9		
2.54	2.0	119	12.2	70.31	17.3
3.81	3.0	154	15.8		
5.08	4.0	180	18.5	105.46	17.5
6.35	5.0	229	23.5		
7.62	6.0	255	26.1		
8.89	7.0				
10.16	8.0				
11.43	9.0				
12.70	10.0				

Penet	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	ISC
mm	Min	Extens	Kg/cm²	Kg/cm²	%
0.63	0.5	32	3.3		
1.27	1.0	79	8.1		
1.90	1.5	133	13.6		
2.54	2.0	178	18.2	70.31	25.9
3.81	3.0	226	23.2		
5.08	4.0	276	28.3	105.46	26.8
6.35	5.0	331	33.9		
7.62	6.0	378	38.7		
8.89	7.0				
10.16	8.0				
11.43	9.0				
12.70	10.0				

Penet	Temp	Leitura	Pressão	Pres. Padr	ISC
mm	Min	Extens	Kg/cm²	Kg/cm²	%
0.63	0.5	15	1.5		
1.27	1.0	32	3.3		
1.90	1.5	71	7.3		
2.54	2.0	100	10.3	70.31	14.6
3.81	3.0	130	13.3		
5.08	4.0	165	16.9	105.46	16.0
6.35	5.0	209	21.4		
7.62	6.0	244	25.0		
8.89	7.0				
10.16	8.0				
11.43	9.0				
12.70	10.0				

2º PONTO	

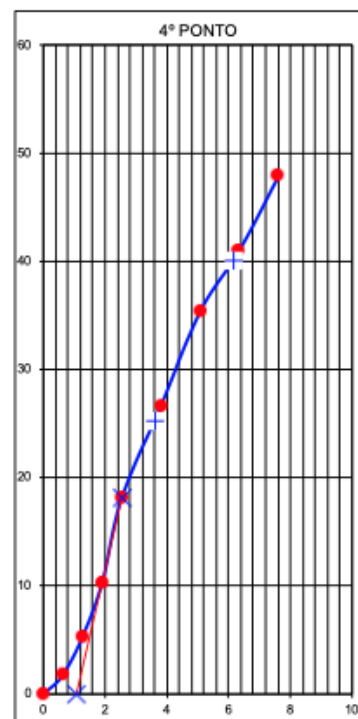
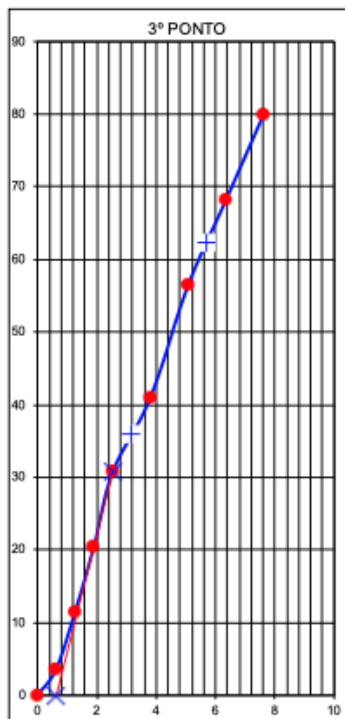
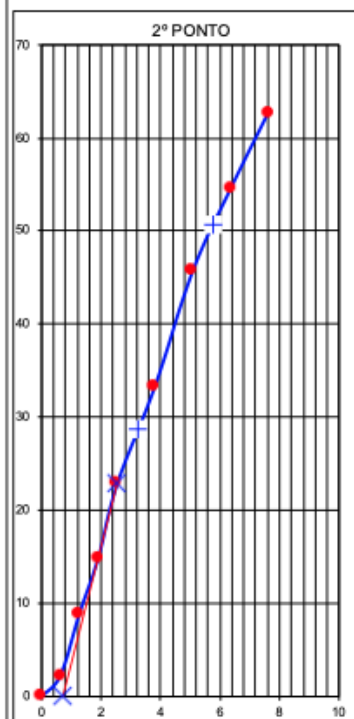
3º PONTO	

4º PONTO	

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 32. Ensaio de CBR e expansão da amostra 02 - sub-base

Obra:		TO-050	
Rodovia:		0	



Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)

Tabela 33. Ensaio de CBR e expansão da amostra 02 - base

Obra: <u>TO-050</u> Rodovia: <u>0</u> Seg. <u>TCC</u> Trecho: <u>PALMAS A PORTO NACIONAL</u> Sub-trecho: <u>T.23 EST. 23+6.00 A 30</u> Estudo: <u>BASE</u> Data: <u>3/22/21</u> Estaca: _____ Furo: <u>6</u> Prop: <u>0</u> Prof: <u>0.00</u> a <u>0.00</u>									
Material: CASCALHO LAT. VERMELHO									
ENSAIO DE EXPANSÃO									
DNER-ME029-94									
Constante do Anel: 0.1025									
ENSAIO DE I.S.C.									
DNER-ME049-94									
2° PONTO									
3° PONTO									
4° PONTO									

Fonte: Produzido por Técnica Engenharia (2021)