



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Amanda Alencar da Silveira

ESTUDO GEOTÉCNICO PARA PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO NA RODOVIA QUE LIGA GURUPI-TO AO ATERRO SANITÁRIO

Palmas - TO

2018

Amanda Alencar da Silveira

ESTUDO GEOTÉCNICO PARA PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO NA
RODOVIA QUE LIGA GURUPI-TO AO ATERRO SANITÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Professor Euzir Chagas

Palmas - TO

2018

AMANDA ALENCAR DA SILVEIRA

ESTUDO GEOTÉCNICO PARA PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO NA
RODOVIA QUE LIGA GURUPI-TO AO ATERRO SANITÁRIO

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina, Trabalho de conclusão do curso (TCC II) do Curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Euzir Pinto Chagas.

Aprovada em ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Edvaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Murilo de Pádua Marcolini
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sempre me dado forças para jamais desistir diante das dificuldades.

Aos meus pais Pedro e Gisélia, por sempre estarem me apoiando e por não medirem esforços para que eu buscasse a realização dos meus sonhos.

Aos meus irmãos Pedro Augusto e Heloisa que sempre estiveram presentes durante toda a caminhada, se alegrando com cada conquista minha.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação ao longo destes cinco anos, em especial ao professor e orientador Euzir Pinto Chagas, pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas de curso que foram presença marcante durante a caminhada, que serão para sempre lembrados com muito carinho e admiração.

E finalmente, a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram para a minha formação, a vocês fica o meu sincero muito obrigada.

RESUMO

SIVEIRA, Amanda Alencar da. **Estudo geotécnico para projeto de pavimentação na rodovia que liga Gurupi-TO ao aterro sanitário**. 2018. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, e proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança, para isso é necessário o conhecimento do tipo de solo onde o pavimento será construído. No presente trabalho foi desenvolvido ensaios para o conhecimento do tipo de solo da rodovia TO – 365 entre a cidade de Gurupi e o aterro sanitário e conseqüentemente o dimensionamento do pavimento a ser construído na rodovia rural. Para isto, o trabalho está constituído em três etapas. A primeira é formada por uma pesquisa bibliográfica que embasa todo o estudo, através das normas estabelecidas pelo DNIT que referenciam os procedimentos de cálculo e execução dos pavimentos no Brasil, determinando os ensaios que devem ser realizados e os resultados esperados. Na segunda etapa foram realizados os ensaios para determinação de índices físicos e mecânicos das amostras colhidas e o Índice de suporte Califórnia nos dois segmentos do trecho que tem extensão de 3 km, posteriormente foi realizado a contagem volumétrica do tráfego atual que possibilitou o cálculo do VMD e do número "N" atual e sua projeção para 15 anos, o que possibilitou o Dimensionamento do pavimento pelo Método do DNER. A terceira etapa é a conclusão do estudo através das análises dos resultados, determinando então as dimensões do pavimento a ser construído.

Palavras chaves: Pavimentação, Dimensionamento do pavimento, Índice de Suporte Califórnia, Método do DNER

ABSTRACT

Siveira, Amanda Alencar da. **Geotechnical study for the paving project on the highway linking Gurupi-TO to the sanitary landfill. 2018.** 101 f. Course Completion Work (Bachelor) - Civil Engineering Course, University Center Luterano de Palmas, Palmas / TO, 2018.

The main purpose of paving is to ensure trafficability at any time of the year and climatic conditions, and provide users with rolling comfort and safety, for this it is necessary to know the type of soil where the pavement will be built. In the present work, it was developed tests to know the soil type of the TO - 365 highway between the city of Gurupi and the sanitary landfill and consequently the sizing of the pavement to be built on the rural highway. For this, the work is constituted in three stages. The first one is formed by a bibliographical research that bases the whole study, through the norms established by the DNIT that refer to the procedures of calculation and execution of pavements in Brazil, determining the tests that must be performed and the expected results. In the second stage, the tests were carried out to determine the physical and mechanical indices of the samples collected and the support index California in the two segments of the stretch that has a 3 km extension. Later, the volumetric count of the current traffic was performed, which enabled the calculation of the VMD and the current "N" number and its projection for 15 years, which made possible the Sizing of the pavement by the DNER Method. The third step is the conclusion of the study through the analysis of the results, determining the dimensions of the pavement to be constructed.

Keywords: Paving, Scaffolding, California Support Index, DNER Method

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento Flexível.....	19
Figura 2- Pavimento Rígido.....	20
Figura 3-Camadas de um pavimento	20
Figura 4- Curva Granulométrica	22
Figura 5- Aparelho Casagrande	27
Figura 6 - Canelura na massa de solo	29
Figura 7- Ábaco para classificação MCT.....	39
Figura 8- Classificação Resiliente de solos granulares	40
Figura 9-Esquema de sondagem para prospecção de materiais	42
Figura 10 - Trecho da rodovia TO-365	62
Figura 11- Pontos determinados	64
Figura 12- Início do trecho onde serão recolhidas amostras de solo - Ponto 1	64
Figura 13- Fim do trecho onde serão recolhidas amostras de solo - Ponto 2	65
Figura 14- lavando na peneira de 2.0 mm.....	67
Figura 15- jogo de peneiras.....	68
Figura 16 - aparelho casagrande	69
Figura 17- corpo de prova em forma elipsoidal	70
Figura 18- Compactando o solo	71
Figura 19- Amostras imersas	72
Figura 20- Leituras do ensaio.....	73
Figura 21- Sistema unificado de classificação de solos	75
Figura 22-Faixas Granulométricas	76
Figura 23- Curva granulométrica- base.....	77
Figura 24- Curva Granulométrica - sub leito.....	78
Figura 25- Gráfico do ensaio de LL- base	79
Figura 26- Gráfico do ensaio de LL- subleito	80
Figura 27- Compactação do material de base.....	83
Figura 28- Compactação do material de subleito	85
Figura 29- Curvas do I.S.C- base.....	87
Figura 30- Curvas do I.S.C- subleito	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Procedimento após o peneiramento.....	44
Tabela 2- Quantidade de amostra a ser tomada	44
Tabela 3- Quantidade de amostra para análise granulométrica.....	45
Tabela 4- Quantidade de amostra para determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, com secagem prévia	46
Tabela 5- Granulometria para base granular.....	54
Tabela 6- Determinação do fator de operações	56
Tabela 7- Coeficiente de Equivalência Estrutural.....	58
Tabela 8- Espessura mínima de revestimento betuminoso.....	59
Tabela 9- Índices físicos - granulometria - base.....	76
Tabela 10- Índices físicos - granulometria - subleito	77
Tabela 11 - Limite de liquidez - base.....	79
Tabela 12 – Limite de liquidez – subleito	80
Tabela 13- Limite de plasticidade - base	81
Tabela 14- Limite de plasticidade - subleito	81
Tabela 15- Classe do solo pelo IP.....	82
Tabela 16- Compactação do material para base.....	83
Tabela 17- Compactação do material para subleito	84
Tabela 18 – CBR - base	86
Tabela 19- CBR -subleito	88
Tabela 20- Métodos manuais de contagem de veículos	91
Tabela 21- Contagem de veículos.....	92
Tabela 22- Cálculo para determinar o fator de equivalência de carga	93
Tabela 23- Tipos de eixo	94
Tabela 24- Coeficiente de equivalência estrutural "k"	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBR	Ensaio de Índice de Suporte Califórnia
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FGV	Fundação Getulio Vargas
HRB	<i>Highhway Research Board</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
ISC	Índice suporte Califórnia
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MCT	Miniatura Compactado Tropical
NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
TRB	TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

LISTA DE SÍMBOLOS

Δh	Altura
%	Porcentagem
\leq	Menor ou igual
\geq	Maior ou igual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 RODOVIAS PAVIMENTADAS NO BRASIL.....	18
2.2 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO.....	18
2.2.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	18
2.2.2 PAVIMENTO RÍGIDO	19
2.3 CAMADAS DE UM PAVIMENTO.....	20
2.3.1 SUBLEITO.....	21
2.3.2 SUB-BASE.....	21
2.4 CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS.....	21
2.4.1 GRANULOMETRIA	21
2.4.1.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DO ENSAIO.....	23
2.4.1.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	24
2.4.1.3 CALCULOS EXCETO PARA SEDIMENTAÇÃO.....	25
2.4.1.5 RESULTADOS	27
2.4.2 LIMITES DE LIQUIDEZ	27
2.4.2.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DO ENSAIO.....	27
2.4.2.2 MÉTODO DE EXECUÇÃO DO ENSAIO.....	28
2.4.2.3 CÁLCULOS	29
2.4.3 LIMITE DE PLASTICIDADE	31
2.4.3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO	31
2.4.3.2 MÉTODOS DE EXECUÇÃO DO ENSAIO	31
2.4.3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)	32
2.4.4 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS	33
2.4.4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO.....	33
2.4.4.2 EXECUÇÃO DO ENSAIO	34
2.4.5 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	35

2.4.5.1 MÉTODOS DE EXECUÇÃO.....	36
2.4.5.2 CÁLCULOS	36
2.4.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	37
2.4.6.1 EXECUÇÃO DO ENSAIO MCT	37
2.4.6.2 CLASSIFICAÇÃO RESILIENTE	39
2.5 EXPLORAÇÃO DAS JAZIDAS	41
2.5.1 COLETA DO MATERIAL	42
2.5.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	43
2.5.3 EXIGÊNCIAS PARA MATERIAIS DE REFORÇO DO SUBLEITO, SUB- BASE E BASE.....	46
2.6 ESTUDO DE TRÁFEGO.....	47
2.6.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
2.6.2 ESTABELECIMENTO DAS ZONAS DE TRÁFEGO	48
2.6.3 INFORMAÇÕES BÁSICAS	50
2.6.4 PESQUISA DE TRÁFEGO.....	51
2.6.5 PESAGENS DE VEÍCULOS.....	52
2.7 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	52
2.7.1 MÉTODO DO DNER.....	53
2.7.1.1 DETERMINAÇÃO DO NUMERO “N”	55
2.7.1.2 COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA	58
2.7.1.3 ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO	59
3 METODOLOGIA.....	62
3.1 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	62
3.2 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO	63
3.2.1 LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM.....	63
3.3 MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA COLETA DAS AMOSTRAS:	65
3.4 COLETA DAS AMOSTRAS.....	65
3.5 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	66
3.5.1 GRANULOMETRIA	67
3.5.2 LIMITE DE LIQUIDEZ.....	68
3.5.3 LIMITE DE PLASTICIDADE	69
3.5.4 COMPACTAÇÃO DE SOLOS.....	70
3.5.5 ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA	72
3.5.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	73

4 RESULTADOS E DISCURSÕES	75
4.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO	75
4.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA	78
4.3 COMPACTAÇÃO	82
4.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	85
4.5 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N	91
5 CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	99

1 INTRODUÇÃO

Estradas não pavimentadas, também conhecidas como estradas vicinais de terra, ou ainda estradas rurais, são de extrema importância para as comunidades rurais. Segundo Nunes (2003), é através delas que se estabelece a ligação entre as comunidades produtoras e as grandes rodovias pavimentadas, por onde serão encaminhadas as mercadorias até o seu destino final.

Essas estradas, desenvolveram-se a partir de traçados já existentes, acompanhando o greide natural e as curvas de níveis, o que lhes conferia rampas com grandes inclinações e curvas acentuadas. Com o decorrer do tempo, os traçados foram adaptados de acordo com a necessidade, tendo, por vezes, a sua largura aumentada. Na tentativa de melhorar as condições da via, e sem as especificações técnicas adequadas, normalmente é realizado o motonivelamento, rebaixando o leito da via e criando taludes laterais, ocasionando assim diminuição da visibilidade, escoamento de água sobre a pista, entre outros (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, 2005).

A pavimentação asfáltica, nada mais é que uma estrutura de várias camadas construída sobre a terraplanagem e destinada a resistir aos esforços providos do tráfego e a melhorar as condições de rolamento.

Tendo em vista a necessidade da pavimentação da rodovia TO 365, o projeto enfatiza a execução de um pavimento flexível na estrada rural que liga a sede do Município de Gurupi-TO ao aterro sanitário, cuja extensão de 4,5 quilômetros.

Sabemos que para que a construção de um pavimento seja executada, inicialmente devemos conhecer as características do solo da região, isso se dá através de sondagens e ensaios do solo.

Um material que possui uma grande variação em suas propriedades físico-mecânicas é o solo e normalmente, na construção de pavimentos, quando o solo não atende às especificações necessárias a um determinado uso ele é removido e suprido por um material de melhor qualidade.

De modo geral os ensaios demandam funções importantes no dimensionamento, pois através da análise adequada dos dados, teremos uma estrutura economicamente viável, e preservada de manifestações patológicas oriundas à capacidade de suporte de cargas ou possíveis expansões do solo.

Visto isso, este projeto procura um dimensionamento que seja viável e atenda a necessidade da região.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais mecanismos de estudo devem ser feitos para obtenção de resultados aos quais irão influenciar em uma futura obra de pavimentação rural?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar estudo geotécnico do subleito para dimensionamento do material de um trecho da rodovia TO-365 que liga a cidade de Gurupi-TO ao aterro sanitário, com extensão de 4,5 km.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudar o subleito por meio de ensaios em laboratórios;
- Prospectar jazidas que atendam as especificações para base e sub-base;
- Realizar ensaio de caracterização dos materiais granulares – granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação e Índice de Suporte de Califórnia.
- Apresentar dimensionamento do pavimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Temos no Brasil segundo IBGE, uma área de aproximadamente 8.516.000 km² e por ser tão vasto o país, há diferentes tipos de solo que podem ter sido originados por diferentes tipos de sedimentação ou decomposição de várias rochas e para isso tem-se que haver estudos geotécnicos para saber suas características em cada lugar.

Segundo IBGE, desde os anos 50, a construção de rodovias cresce em grande escala, nos dias atuais está cada vez mais difícil encontrar jazidas com características que atendem o mínimo exigido pela norma de pavimentação. Sabemos que o que mais gera custos em uma obra de pavimentação é o transporte de materiais para a base e sub-base de uma construção de um pavimento.

Neste trabalho será realizado estudo de solos em laboratórios e conseqüentemente após a obtenção destes resultados saber a disponibilidade dos materiais para base e sub-base em jazidas próximas do trecho a ser estudado.

A cidade de Gurupi-TO, onde será realizado este trabalho cresce significativamente e para isso uma melhor infraestrutura tem que ser implantada. Com a pavimentação da TO-365 melhorará não apenas o acesso ao aterro sanitário da cidade, mas também o acesso para loteamentos onde estão sendo construídos a margem da rodovia.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 RODOVIAS PAVIMENTADAS NO BRASIL

Segundo a CNT, nas últimas décadas, a extensão de rodovias pavimentadas no Brasil aumentou 23,2%. Em 2001 o País tinha 170,9 mil quilômetros com pavimento (9,8% do total), em 2015, esse número chegou a 210,6 mil quilômetros (12,2% do total).

Os Estados com maior malha pavimentada em 2015 são em primeiro lugar Minas Gerais (25.823,9 km), seguindo de São Paulo (24.976,6 km), Paraná (19.574,1 km), Bahia (15.910,7 km) e Goiás (12.760,6 km). Já aqueles que têm menor malha pavimentada são Amazonas (2.157,0 km), Acre (1.498,2 km), Roraima (1.462,8 km), Distrito Federal (908,0 km) e Amapá (528,1 km) (CNT)

Segundo pesquisa realizada pelo DNIT, a maior parte da carga que abastece o País, cerca de 70% é transportada pelas estradas, apesar disso um percentual pequeno delas está pavimentado, enquanto 18% passaram por ferrovias.

2.2 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

Pavimento conforme definição da NBR 7207/82 é: “Estrutura construída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais tornando mais durável a superfície e rolamento”.

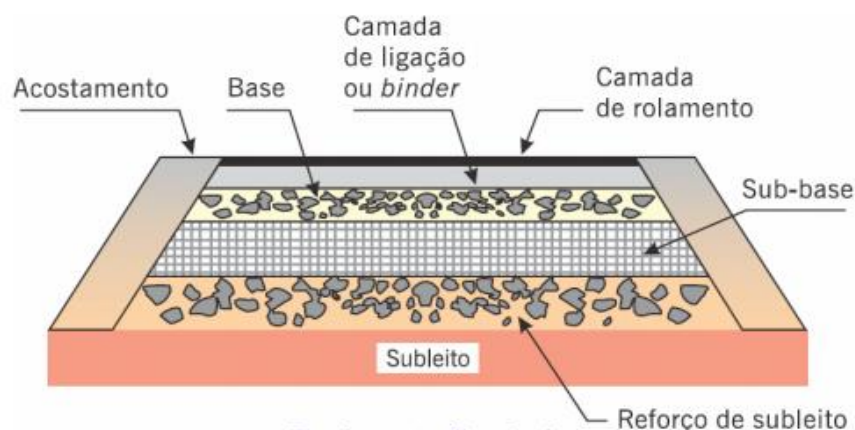
2.2.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

A definição de pavimento flexível segundo o DNIT(2006) é: “Pavimento que consiste em uma camada de rolamento asfáltica e de base, constituída de uma ou mais camadas, que se apoia sobre o leito da estrada sendo que a

camada de rolamento pode-se adaptar-se à deformação da base quando solicitada.”

O pavimento flexível conforme a figura 1 é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.

Figura 1 - Pavimento Flexível

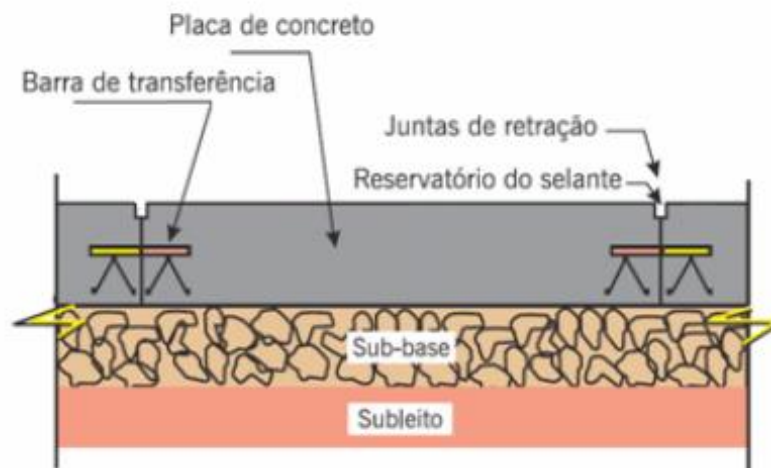


Fonte: Bernucci et al., 2006

2.2.2 PAVIMENTO RÍGIDO

Segundo DNIT (2006), é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, onde a camada de rolamento também funciona como estrutura e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado conforme figura 2.

Figura 2- Pavimento Rígido

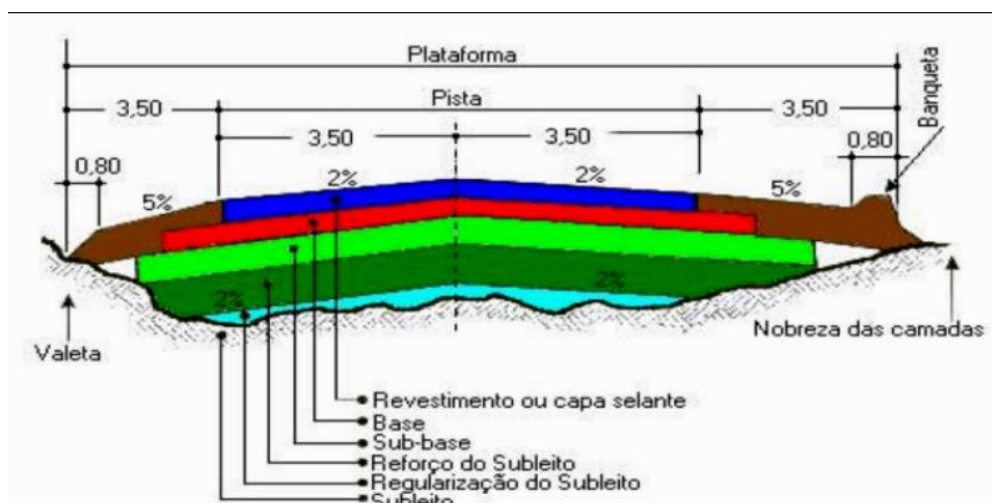


Fonte: Bernucci et al, 2006

2.3 CAMADAS DE UM PAVIMENTO

Segundo Senço, 2007, revestimento é a camada destinada a resistir às ações do tráfego e transmiti-las de forma distribuída para as camadas. As outras camadas, subleito, reforço do subleito, sub-base e base tem grande importância estrutural pois são responsáveis por restringir as tensões e deformações na estrutura do pavimento. Isto acontece graças a combinação de materiais e espessura das camadas, veja figura 3.

Figura 3-Camadas de um pavimento



Fonte: Senço, 2007

2.3.1 SUBLEITO

Segundo DNIT 2006, subleito é definido como o terreno de fundação preparado para receber o pavimento, que na maioria das vezes exerce o papel de fundação direta, é uma camada bastante exigida pela transmissão de esforços do pavimento industrial ao solo.

A operação destinada a conformar o leito estradal, conhecida como regularização do subleito, deve obedecer às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, se o CBR do subleito for $<2\%$, ele deve ser substituído por um material melhor, ($2\% \leq \text{CBR} \leq 20$) até pelo menos 1,00 metro, se o CBR do material do sub-leito for $\geq 20\%$, pode ser usado como sub-base e quando necessário fazer-se cortes ou aterros até 20 cm de espessura (DNIT 2006).

2.3.2 SUB-BASE

Para DNIT 2006, traduz-se a sub-base como uma camada situada acima do reforço ou regularização do subleito e abaixo da base do pavimento, é uma camada complementar a base indicada quando for necessário, ou seja, quando não puder construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Com exceção da função estrutural ao pavimento, a sub-base tem outras características, tais como:

- 1) Se o material tiver qualidades granulométricas drenantes, podem prevenir o acúmulo de água livre no pavimento;
- 2) Prevenir a intrusão do solo do subleito na base, ocasionando a destruição do pavimento.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS

2.4.1 GRANULOMETRIA

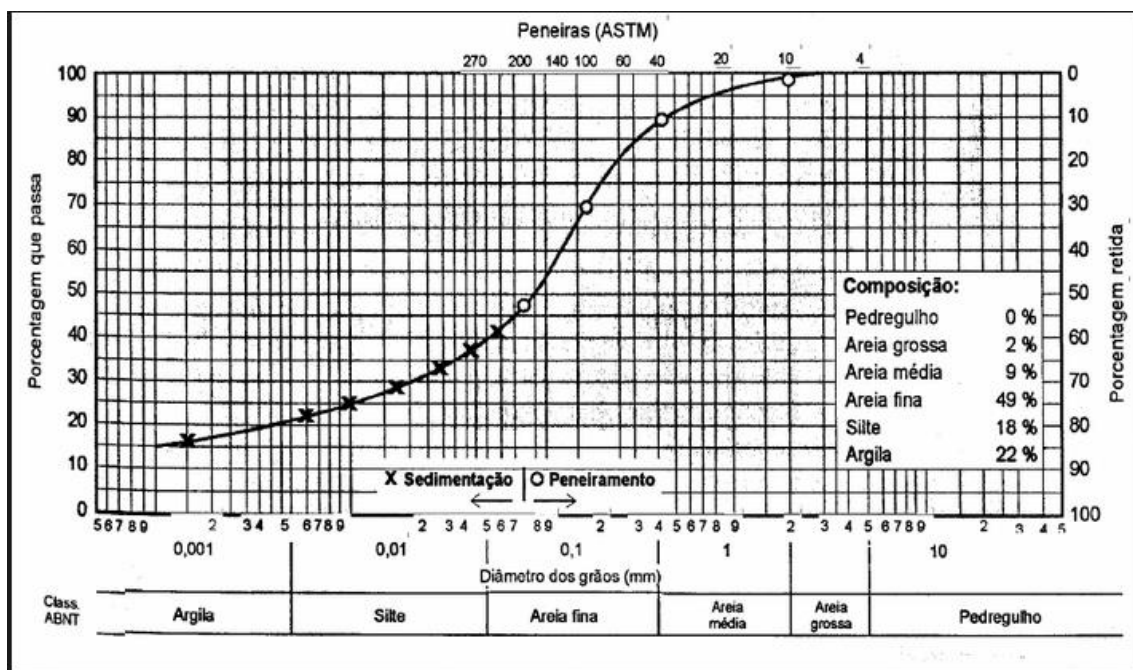
Para a norma NBR 7181, o ensaio de granulometria é utilizado para determinação das dimensões granulométricas do solo. Este por sua vez é

dividido em duas partes diferentes, utilizadas de acordo com o tipo de solo e as finalidades do ensaio para cada caso. São elas: análise granulométrica por peneiramento e análise granulométrica por sedimentação.

Os solos grossos (areias e pedregulhos), possuindo pouca ou nenhuma quantidade de finos, podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada utilizando-se somente o peneiramento. Em solos possuindo quantidades de finos significativas, deve-se ser realizado o ensaio de granulometria conjunta, que engloba as fases de peneiramento e sedimentação.

Através dos resultados obtidos desse ensaio, é possível a construção da curva de distribuição granulométrica conforme a figura 4, que contém parâmetros para caracterização geotécnica do solo.

Figura 4- Curva Granulométrica



Fonte: Pinto (2006).

Pinto (2006) classifica os solos de acordo com os seguintes diâmetros:

- Diâmetro Efetivo (D10 ou D60): É o diâmetro equivalente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele. O valor de D10 nos dá uma das informações que irá precisar para o cálculo da permeabilidade, utilizado no dimensionamento de filtros e drenos.

- D30 e D60: diâmetros equivalentes a 30% e 60% em peso total das partículas menores que eles.
- Grau de Uniformidade (U): O grau de uniformidade indica a falta de uniformidade, sendo tanto menor quanto mais uniforme for o solo (Carvalho, 2005).

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (01)$$

Quanto menor o grau de uniformidade, maior é a inclinação da curva granulométrica, e o solo é mais bem graduado, segundo a seguinte classificação:

- U < 5: muito uniforme
- 5 < U < 15: uniformidade média
- U > 15: desuniforme.

2.4.1.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DO ENSAIO

Os principais equipamentos e utensílios utilizados que estão presentes na norma NBR 7181 são:

- Balança;
- Almofariz e mão de grau;
- Cápsulas para determinação de umidade;
- Estufa;
- Jogo de peneiras (50|38|25|19|9,5|4,8|2,38|2|1,2|0,6|0,42|0,29|0,15|0,075mm);
- Agitador de peneiras e dispersor elétrico;
- Proveta graduada de 1000ml;
- Densímetro graduado de bulbo simétrico;
- Termômetro;
- Cronômetro;

2.4.1.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Segundo a norma NBR 7181, o procedimento experimental para o ensaio de granulometria divide-se em três partes que são:

- Peneiramento Grosso
- Peneiramento Fino
- Ensaio de Sedimentação

Peneiramento Grosso

O peneiramento grosso é realizado utilizando-se a quantidade de solo que fica retida na #10 (2,00mm), no momento da preparação da amostra, seguindo-se o seguinte procedimento experimental:

- 1°) Lava-se o material na #10 colocando-o em seguida na estufa.
- 2°) As peneiras de aberturas maiores e igual a #10 são colocadas uma sobre as outra com as aberturas das malhas crescendo de baixo para cima. Embaixo da peneira de menor abertura (#10) será colocado o prato que recolherá os grãos que por ela passarão. Em cima da peneira de maior abertura será colocada a tampa para que se evite a perda de partículas no início do processo de vibração. O conjunto de peneiras assim montado poderá ser agitado manualmente ou conduzido a um peneirador capaz de produzir um movimento horizontal e um vertical às peneiras, simultaneamente.
- 3°) Pesa-se a fração de solo retida em cada peneira, até chegar à #10 (2,00mm).

Peneiramento Fino

O peneiramento fino é realizado utilizando-se cerca de 120g de solo que consegue passar na #10 (2,00mm), no momento da preparação da amostra, seguindo-se o seguinte procedimento experimental:

- 1°) Põe-se o material na #200 (0,075mm), lavando-o e em seguida colocando-o na estufa.
- 2°) Junta-se e empilha-se as peneiras de aberturas compreendidas entre as peneiras #10 (2,00mm) e #200 (0,075mm), coloca-se o material seco no conjunto

de peneiras e agita-se o conjunto mecânica ou manualmente (tomando-se todos os cuidados descritos para o caso do peneiramento grosso).

3°) Pesa-se a fração de solo retida em cada peneira

.

Sedimentação

Para a realização do ensaio de sedimentação, utiliza-se a amostra, obtida conforme descrito anteriormente, com um peso entre 50 e 100g. O ensaio de sedimentação é realizado seguindo-se o seguinte procedimento experimental:

1°) Põe-se a amostra em imersão (6 a 24hs) com defloculante (solução de hexametáfosfato de sódio).

2°) Agita-se a mistura no dispersor elétrico por 5 a 15min.

3°) Muda-se a mistura para uma proveta graduada, completando com água destilada até 1000ml e realiza-se o agitação da mistura solo/água.

4°) Faz-se leituras do densímetro nos instantes de 30s, 1min, 2, 4, 8, 15, 30min, 1h, 2, 4, 8, 24h.

2.4.1.3 CALCULOS EXCETO PARA SEDIMENTAÇÃO

Estes cálculos seguem a norma específica NBR 7181:

✓ Massa Total da Amostra Seca:

Utiliza-se a expressão:

$$M_s = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \times 100 + M_g \quad (02)$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca.

M_t = massa da amostra seca ao ar.

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,00mm.

h = umidade higroscópica da material passado na peneira de 2,00mm.

- ✓ Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,38 e 2,0mm.

Utiliza-se a expressão:

$$QG = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100 \quad (03)$$

Onde:

Qg = porcentagem de material passado em cada peneira.

Ms = massa total da amostra seca.

Mi = massa do material retido acumulado em cada peneira.

h = umidade higroscópica da material passado na peneira de 2,00mm.

- ✓ Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 1,2, 0,6,0,42, 0,29, 0,15 e 0,075mm.

Utiliza-se a expressão:

$$QF = \frac{Mh \times 100 - M_i(100 + h)}{Mh \times 100} \times N \quad (04)$$

Onde:

Qf = porcentagem de material passado em cada peneira.

Mh = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino.

h = umidade higroscópica da material passado na peneira de 2,00mm.

Mi = massa do material retido acumulado em cada peneira.

N = porcentagem de material que passa na peneira de

2,0mm

2.4.1.5 RESULTADOS

De acordo com a norma NBR 7181, a partir dos valores obtidos pelos cálculos traça-se a curva de distribuição granulométrica, deixando ao eixo das abcissas, em escala logarítmica, os “diâmetros” das partículas e ao eixo das ordenadas, em escala natural, os percentuais das partículas menores do que os diâmetros considerados, isto é, os percentuais de solo que passam nas peneiras como vimos no item 2.4.1.

2.4.2 LIMITES DE LIQUIDEZ

Segundo a, o Limite de Liquidez é definido como a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo e é realizado com o aparelho Casagrande (figura 5).

Figura 5- Aparelho Casagrande



Fonte: Das, 2007

2.4.2.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DO ENSAIO

De acordo com a norma do DNER-ME 122/94 os equipamentos utilizados para determinação do Limite de Liquidez, são os:

- Balança sensível a 0,01 g;
- Estufa capaz com potência entre 105 °C a 110 °C;

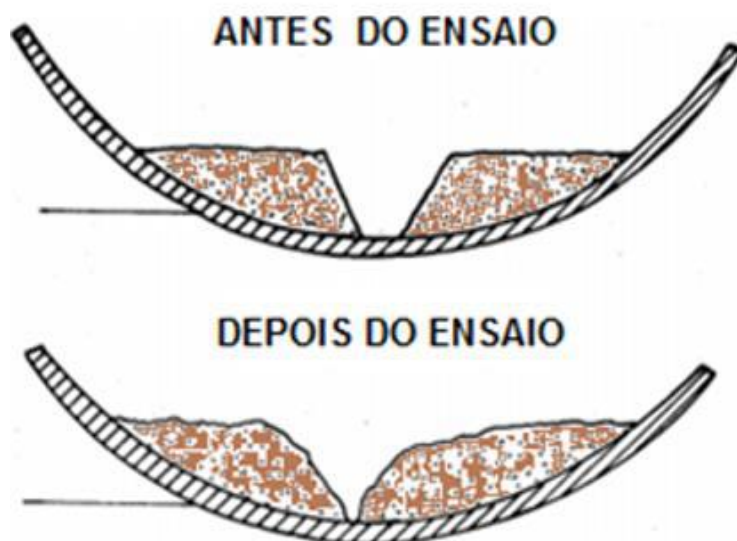
- Cápsula de porcelana para 500 ml;
- Recipientes para guardar a amostra sem perda de umidade;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e de 20 mm de largura;
- Pinça para retirar objetos da estufa;
- Cronômetro;
- Esfera de aço com 8mm de diâmetro;

2.4.2.2 MÉTODO DE EXECUÇÃO DO ENSAIO

De acordo com a norma do DNER-ME 122/94 a execução do ensaio do Limite de Liquidez se faz de acordo com os itens abaixo.

- Colocar a amostra na cápsula de porcelana, adicionar 15cm³ a 20cm³ e misturar com uma espátula. Posteriormente adicionar água na ordem de 1cm³ a 3cm³ dando-se a perfeita homogeneização da mistura, que se deve apresentar como uma massa plástica. O tempo de homogeneização deve estar entre 15min e 30 min.
- Pega-se uma porção suficiente da mistura preparada, colocando-a na concha em torno do ponto correspondente ao de contato entre a concha e a base do aparelho. Espalhar a seguinte massa plástica, de tal modo que a mesma ocupe aproximadamente 2/3 da superfície da concha. Empregar o menor número possível de passadas da espátula, para evitar formação de bolhas de ar no interior da massa. Alisar com a espátula a massa de solo, até que esta se apresente com 1cm de espessura no ponto de máxima espessura. O excesso da massa de solo deve ser retirado da concha do aparelho e colocado na cápsula de porcelana antes da referida.
- Produzir uma canelura (abertura) na massa de solo segundo o plano de simetria do aparelho, usando o cinzel, de tal modo que a espessura da massa na parte central seja de 1 cm (Figura 6).

Figura 6 - Canelura na massa de solo



Fonte: DNER- ME 122/94

- Golpear contra a base do aparelho, pelo acionamento da manivela, a concha contendo a massa de solo, com a velocidade de duas voltas por segundo, até que as duas bordas inferiores da canelura se unam na extensão de 1cm.
- Transferir com a espátula, para o recipiente adequado para determinação da umidade e uma porção de solo colhida de ambos os lados da canelura, e transversalmente a ela, abrangendo a porção em que se verificou a união das bordas: pesar imediatamente o conjunto recipiente mais solo, levando-o, a seguir, para uma estufa a 105°C, para determinação da umidade. As determinações são com aproximação de 0,01g.

2.4.2.3 CÁLCULOS

Segundo a norma DNER-ME 122/94, a umidade é determinada pela fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (05)$$

em que:

h- teor da umidade, em percentagem;

Ph- massa do solo úmido;

Ps- massa do solo seco em estufa a 105 °C – 110 °C, até constância de massa.

- Retirar o solo remanescente na concha, transferindo-o para a cápsula de porcelana.

- Repetir as ações descritas de a) a f), pelo mesmo três vezes, com adições de água gradativamente crescente; objetiva esse procedimento obter massas de solo de consistência que permitam pelo menos uma determinação do número de golpes em cada um dos seguintes intervalos 25-35, 20-30, 15-25.

O limite de liquidez é determinado pela fórmula:

$$LL = h \frac{(N)}{25} 0,156 \quad (06)$$

ou

$$LL = h \times K(N) \quad (07)$$

Em que:

h- teor de umidade (%), correspondente a N golpes;

N- número de golpes na determinação de um ponto do ensaio;

LL- limite de liquidez(%);

$$K(N) = \frac{(N)}{25} 0,156 \quad (08)$$

2.4.3 LIMITE DE PLASTICIDADE

Segundo a norma NBR 7180 é tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plástico e semissólido do solo. Em laboratório o limite de plasticidade é obtido determinando-se o teor de umidade no qual um cilindro de um solo com 3mm de diâmetro e 10 cm de comprimento apresenta-se fissuras. A obtenção dos limites de consistência (ou limites de Atterberg) do solo permite estimar, através da Carta de Plasticidade, suas propriedades, principalmente no tocante a granulometria e compressibilidade.

2.4.3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO

Segundo a norma do DNER - ME 082/94, os equipamentos necessários para realizar os procedimentos para a determinação do Limite de Plasticidade são os seguintes:

- Cápsula de porcelana com capacidade de 500ml
- Espátula com lâmina flexível de cerca de 8cm de comprimento e 2 cm de largura;
- Placa de vidro de superfície esmerilhada;
- Cilindro de comparação de 3mm de diâmetro e cerca de 10cm de comprimento;
- Recipiente que permite guardar amostra sem perda de umidade antes de sua pesagem;
- Balança com capacidade de 200g, sensível a 0,01g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C.

2.4.3.2 MÉTODOS DE EXECUÇÃO DO ENSAIO

A norma do DNER - ME 082/94 define os seguintes ensaios para a determinação do Limite de plasticidade, são eles:

- ✓ Coloca-se a amostra na cápsula e junta-se água destilada em quantidade suficiente para se obter massa plástica. Deve-se adicionar água aos poucos, misturando-se continuamente até completa homogeneização da massa;
- ✓ Separam-se cerca de 20g da massa obtida, modelando-a na forma elipsoidal. Rola-se esta massa entre os dedos e a face esmerilhada da placa de vidro, com pressão suficiente, afim de moldá-la na forma de um cilindro uniforme. O número de rolagem deverá estar compreendido entre 80 e 90 por minuto, considerando-se uma rolagem como movimento da mão para a frente e para trás retornando ao ponto de partida.
- ✓ Ao se fragmentar o cilindro, transferem-se imediatamente os seus pedaços para o recipiente e determine-se a umidade pela fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \quad (09)$$

Em que:

h- teor de umidade, em porcentagem;

Ph- peso do material úmido;

Ps- peso do material seco em estufa a 105 °C a 110 °C, até constância de peso;

Fazem-se pesagens com aproximação de 0,01g.

2.4.3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)

É a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade de um solo. Para Caputo (1988), o ponto em que o terreno se encontra no estado plástico, máximo para as argilas e nulo para areias, fornece fundamento para se medir o caráter argiloso de um solo. Assim quanto maior o IP, mais plástico será o solo.

$$\text{Fórmula: } IP = LL - LP \quad (10)$$

2.4.4 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Segundo CAPUTO (1988), a compactação é um método de estabilização de solos que se dá por aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

Para CAPUTO (1988), através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. O ensaio mais comum é o de Proctor (Normal, Intermediário ou Modificado), que é realizado através de sucessivos impactos de um soquete padronizado na amostra.

2.4.4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO

Segundo norma do DNIT 164/2013-ME os equipamentos necessários para o ensaio de compactação são os seguintes:

- ✓ Molde cilíndrico metálico de 15,24 cm \pm 0,05 cm de diâmetro e 17,78 cm \pm 0,02 cm de altura
- ✓ Disco espaçador metálico de 15,00 cm \pm 0,05 cm de diâmetro e de altura igual a 6,35 cm \pm 0,02 cm.
- ✓ Soquete metálico cilíndrico, de diâmetro igual a 5,08 cm \pm 0,01 cm, massa de 4,536 kg \pm 0,01 kg, e com a altura de queda igual a 45,72 cm \pm 0,15 cm;
- ✓ Extrator de amostra do molde cilíndrico.
- ✓ Balança com capacidade de 20 kg, com sensibilidade de 1 g;
- ✓ Balança com capacidade de 1 kg, com sensibilidade de 0,1 g;
- ✓ Estufa capaz de manter a temperatura a 110°C \pm 5°C;
- ✓ Almofariz e mão de gral recoberta de borracha, com capacidade para 5 kg de solo;
- ✓ Régua de aço biselada, rija, de cerca de 30 cm de comprimento;
- ✓ Repartidor de amostras de 5,0 cm de abertura;

- ✓ Cápsulas de alumínio com tampa, ou de outro material adequado, capaz de impedir a perda de umidade durante a pesagem;
- ✓ Peneiras de 50 mm, 19 mm e 4,8 mm, conforme NBR NM ISO 3310-1:2010;
- ✓ Proveta graduada, com capacidade para 1 000 ml;
- ✓ Papel de filtro circular com 15 cm de diâmetro;
- ✓ Acessórios, tais como bandeja, espátula, colher de pedreiro etc.

2.4.4.2 EXECUÇÃO DO ENSAIO

Segundo a norma do DNIT 164/2013-ME, para executar o ensaio de compactação segue-se os seguintes passos:

- ✓ Fixar o molde à base metálica, ajustar o cilindro ou cubo de concreto com massa igual ou superior a 90 kg. Coletar duas cápsulas de solo úmido, quando siltosos ou argilosos, e uma cápsula para solos arenosos e/ou pedregulhosos, determinar a massa destas amostras úmidas e secar em estufa numa temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até constância de massa; fazer as determinações de massas com a aproximação de 0,01 g e tomar a média como umidade representativa do corpo de prova compactado. Compactar o solo no molde com o disco espaçador especificado na alínea “b” da seção desta Norma, como fundo falso, em cinco camadas iguais, de forma a se obter uma altura total do corpo de prova de cerca de 12,5cm após a compactação.
- ✓ Aplicar em cada camada golpes com o soquete caindo de 45,72 cm, distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Por ocasião da compactação deve ser assente, previamente, sobre o disco espaçador um papel de filtro circular de 15 cm de diâmetro.
- ✓ Remover o cilindro complementar, tomando-se o cuidado de destacar com a espátula o material a ele aderente. Com a régua de aço biselada rasar o excesso de material na altura exata do molde e determinar, com aproximação de 1 g, a massa do material úmido compactado mais a do molde. Por subtração da massa do molde se determina a massa do material úmido compactado (P^h).

✓ Repetir as operações referidas nas subseções a), b) e c) para teores crescentes de umidade, utilizando amostras de solo não trabalhadas, tantas vezes quantas necessárias para concretizar a curva de compactação do material e, no mínimo, cinco vezes.

Nota: Os corpos de prova moldados (conjunto cilindro + solo úmido compactado) deverão ser utilizados nos ensaios de expansão e penetração, para determinação do Índice de Suporte Califórnia.

Segundo norma do DNIT 164/2013-ME para obter o valor do teor de umidade calcula-se pela fórmula logo abaixo.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (11)$$

Em que:

h- teor de umidade em percentagem;

Ph- massa da amostra úmida;

Ps- massa da amostra seca em estufa na temperatura de 105 °C a 115 °C, até na constância de massa.

2.4.5 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O objetivo do ensaio de CBR executado é para determinar a capacidade de suporte do solo natural e verificar o melhoramento dos dois ensaios: solo melhorado com a adição de cimento e solo-brita, e analisar também a expansão sofrida após quatro dias de imersão do conjunto ensaiado.

A amostra recebida deve ser seca ao ar, destorroada no almofariz pela mão de gral, homogeneizada e reduzida, com o auxílio do repartidor de amostras ou por quarteamento, até se obter uma amostra representativa de 6000 g, para solos siltosos ou argilosos, e 7000 g, para os arenosos ou pedregulhosos.

Posteriormente passa-se essa amostra representativa na peneira de 19 mm; havendo material retido nessa peneira, procede-se à substituição do

mesmo por igual quantidade, em massa, do material passando na peneira de 19 mm e retido na peneira de 4,8 mm, obtido de outra amostra representativa, conforme subseção. Repetem-se as operações referidas tantas vezes quantos corpos-de-prova tiverem de ser moldados, geralmente cinco.

2.4.5.1 MÉTODOS DE EXECUÇÃO

Segundo a norma brasileira DNIT-ME 049/2004, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, os procedimentos para a execução do ensaio de CBR são três:

Preparo do corpo de prova: é realizada a compactação com energia padrão (Proctor), atentando-se ao número correto de golpes e camadas, correspondentes à energia desejada, normal ou modificada. É comum moldar no mínimo 5 corpos de prova em um cilindro que tem um anel de 50mm de altura, provido de uma altura de 125mm e um diâmetro de 150mm, variando o teor de umidade para que seja possível caracterizar a curva do CBR

Imersão do Corpo de Prova: Após a moldagem dos corpos de provas e já compactados, coloca-se submersos em água por um período de 96 horas, onde são realizadas medidas de expansão devendo ser realizadas leituras no extensômetro a cada 24 horas.

Penetração do corpo de prova: é retirado o corpo de prova, após o período de imersão, e deixado a ser drenado naturalmente por 15 minutos. Logo em seguida, leva-se o corpo de prova para a prensa, onde será rompido através da penetração de um pistão cilíndrico, com uma velocidade de 1,27 mm/min.

Utilizando um anel dinamômetro na prensa, registra-se os valores necessários para o cálculo das pressões de cada penetração.

2.4.5.2 CÁLCULOS

De acordo com a NBR 9895, para o cálculo é adotado as pressões lidas entre as penetrações de 2,54 e 5,08 mm. O resultado é determinado pela seguinte expressão:

$$CBR(\%) = \frac{\text{Pressão lida ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} \times 100 \quad (12)$$

A pressão padrão dada na expressão acima, é 6,90 e 10,35 MPa para as penetrações de 2,54 e 5,08 mm respectivamente. Considera-se o resultado final, aquele que obtiver o maior valor de CBR.

2.4.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Segundo o manual de pavimentação do DNIT IPR-719, o solo é um material que ocorre na natureza nas mais diferentes formas, para ser utilizado com a fundação ou material de construção, há a necessidade de ser classificado de modo que se possam formular métodos de projetos baseados em algumas propriedades de cada grupo. Em virtude disso foram desenvolvidos vários sistemas de classificação, cada um adequado a uma utilização dos solos ou métodos de projeto.

Segundo ainda o manual de pavimentação do DNIT, o *Highhway Research Board* (HRB) é um sistema de classificação de solos bastante utilizados em pavimentação, aprovado em 1945 e que constitui um aperfeiçoamento do antigo sistema da *Public Roads Administration*, proposto em 1929.

2.4.6.1 EXECUÇÃO DO ENSAIO MCT

A execução da metodologia MCT baseia-se resumidamente no seguinte procedimento:

a) Compactação de cerca de 200 g de solo com diferentes umidades, em molde cilíndrico de 50 mm de diâmetro, para determinação de curvas de compactação

em diferentes energias, ou número de golpes aplicados por soquete padronizado e curvas correlacionando a redução de altura do corpo-de-prova (Δh) em função do número de golpes aplicados;

b) Perda por imersão (P_i) dada pela relação percentual entre as massas seca e úmida da parte primitivamente saliente desprendida por imersão, cerca de 1,0cm, do molde de compactação (Método DNER-ME 254/89).

c) Conforme Figura 7, determinam-se os parâmetros classificatórios C' , d' , P_1 e e' ,

Onde:

C' é a inclinação da que passa pelo ponto de mini-MCV=10, interpolada entre os trechos retos das curvas mais próximas;

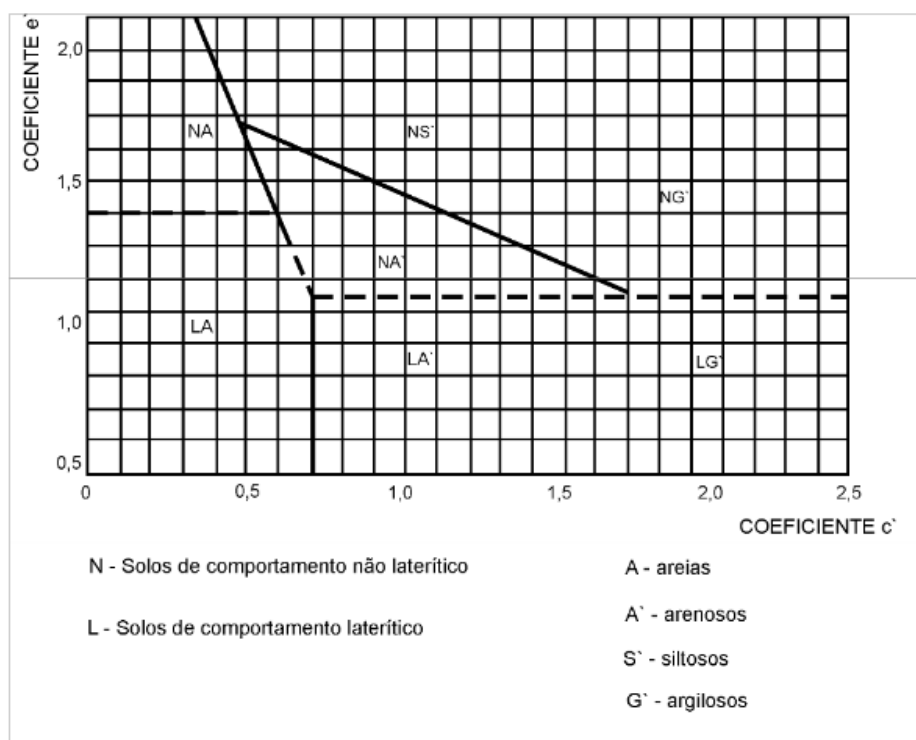
d' é a inclinação, multiplicada por 10^3 , do ramo seco da curva de compactação correspondente a 10 golpes;

P_i é determinado para o mini-MCV= 10 e na curva que relaciona as pedras por imersão dos corpos de prova ensaiados e os mini-MCVs correspondentes, para $\Delta h = 2$ mm;

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (13)$$

d) Com os valores de e' e C' , o solo é classificado em subclasses (Figura 7);

Figura 7- Ábaco para classificação MCT



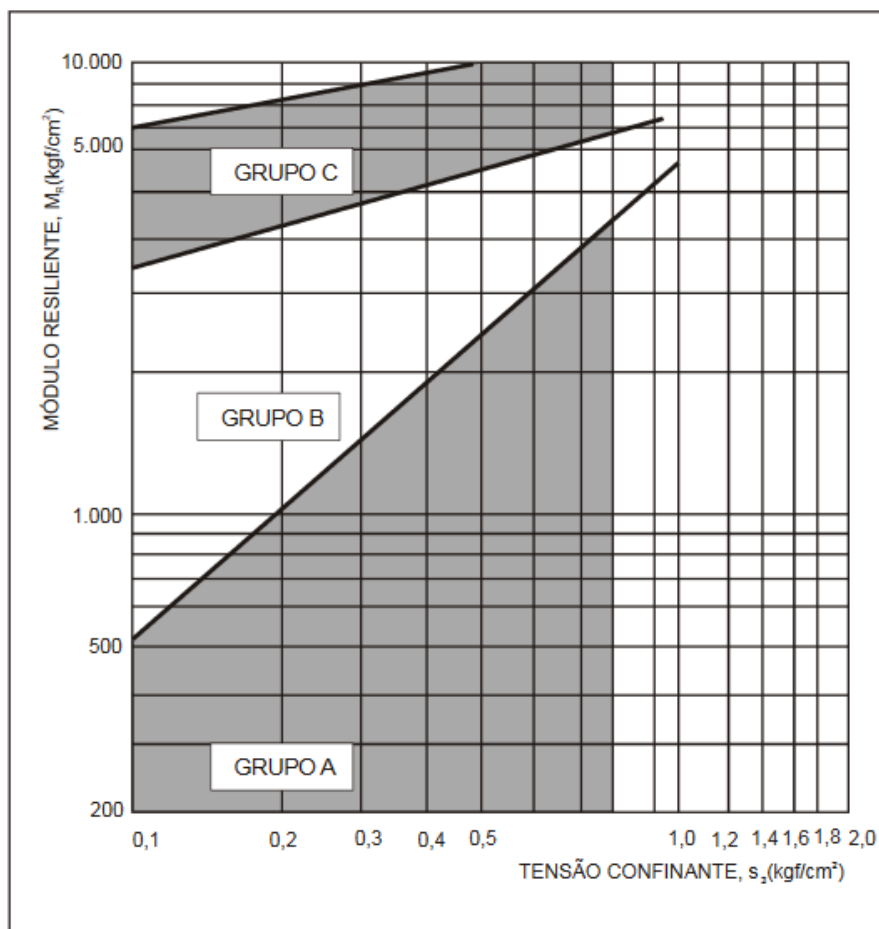
Fonte: Manual de Pavimentação Dnit (2006)

2.4.6.2 CLASSIFICAÇÃO RESILIENTE

A partir dos estudos de Mecânica dos Pavimentos iniciados na COPPE/UFRJ em 1976, por Pinto e Preussler, sob a orientação de Medina, foi possível desenvolver uma classificação de solos baseada em suas propriedades resilientes, permitindo, assim, qualificá-los quanto ao comportamento mecânico em termos de deformabilidade elástica, conforme figura 8 a seguir.

A Classificação fundamenta-se no conhecimento do módulo resiliente dos solos (MR), determinado pelo DNER – ME 131/94).

Figura 8- Classificação Resiliente de solos granulares



Fonte: Manual de Pavimentação Dnit (2006)

a) Solos Granulares

Segundo DNIT (2006), entende-se por solos granulares, para fins de classificação quanto à resiliência, aqueles que apresentam menos de 35% em peso de material passando na peneira nº 200 (0,075 mm);

Grupo A -solos com grau de resiliência elevado - não deve ser empregado em estruturas de pavimentos e constituem subleitos de péssima qualidade.

Grupo B -solo com grau de resiliência intermediário - pode ser empregado em estrutura de pavimentos como base, sub-base e reforço do subleito, ficando seu comportamento dependente das seguintes condições:

$K_2 \leq 0,50$; bom comportamento;

$K_2 > 0,50$; comportamento dependente da espessura da camada e da qualidade do subleito.

Grupo C -solos com baixo grau de resiliência – pode ser usado em todas as camadas do pavimento, resultando em estruturas com baixas deflexões.

b) Solos Finos

Segundo DNIT (2006), entende-se por solos finos, para fins de classificação quanto à resiliência, aqueles que apresentam mais de 35% em peso de material passando na peneira nº 200 (0,075 mm).

Solo Tipo I -solo de bom comportamento quanto à resiliência como subleito e reforço do subleito, podendo ser utilizado também como camada de sub-base.

Solo Tipo II -solo de comportamento regular quanto à resiliência como subleito e reforço do subleito.

Solo Tipo III -solo de comportamento ruim quanto à resiliência. É vedado seu emprego em camadas do pavimento. Para o subleito, requerendo cuidados e estudos especiais.

2.5 EXPLORAÇÃO DAS JAZIDAS

Segundo o DNIT IPR-719 (2006) o estudo da localização dos materiais para pavimentação é feito em duas fases com base nos dados de geologia e pedologia da região, são ele:

- a) Prospecção Preliminar
- b) Prospecção Definitiva durante os trabalhos que podem juntamente fazer a localização das fontes de abastecimento de água.

A Prospecção é feita para identificar a possibilidade de aproveitamento de materiais bem como a qualidade e volume aproximado. Ela compreende em:

- a) Inspeção expedida no campo
- b) Sondagens e coletas de amostras
- c) Ensaio de laboratórios

2.5.1 COLETA DO MATERIAL

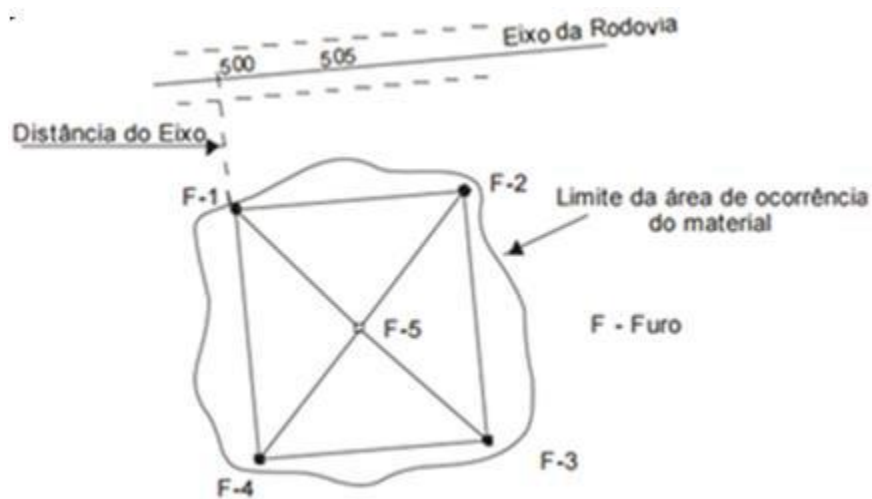
I – Delimita-se, aproximadamente, a área de onde existe o material:

Faz-se 4 e 5 furos de sondagem em volta e no interior da área demarcada, corretamente localizados até à profundidade necessária, ou compatível com os métodos de extração a serem utilizados;

II – Para cada furo e para cada camada, coleta-se uma amostra suficiente para atender os ensaios desejados. Anota-se as cotas de mudanças de camadas, adotando-se uma denominação expedita que as caracterize. Assim o material indesejado será eliminado.

III – Faz-se a amarração dos furos de sondagem, anotando-se as distâncias aproximadas entre eles e a posição da ocorrência em relação a rodovia em estudo. Como mostra a Figura 6.

Figura 9-Esquema de sondagem para prospecção de materiais



Fonte: Manual do DNIT (PR-719)

2.5.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Esta etapa será realizada também seguindo as orientações da norma DNER – ME 041/94 – Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização e também segundo a NBR 6457.

Segundo a NBR 6457, há três tipos diferentes para a preparação de amostras para os ensaios de compactação, são eles:

- a) Preparação com secagem prévia até a umidade higroscópica;
- b) Preparação a 5% abaixo da umidade ótima presumível;
- c) Preparação a 3% acima da umidade ótima presumível.

Será feito a partir de então o procedimento de secagem previa até a umidade higroscópica, onde será exposta ao ar para ser seca e as temperaturas não devem ultrapassar a 60 °C.

A seguir são desmanchados os torrões com no almofariz com o auxílio da mão de grau recoberta de borracha, de maneira que evite a quebra dos grãos.

Reduz-se o material preparado em amostras com quantidades suficientes para o ensaio, cerca de 1,5 quilo para solos argilosos ou siltosos e 2 quilos para solos arenosos ou pedregulhosos.

Verificar se a amostra passa na peneira de 4,8 mm, no caso de material retido nesta peneira, este será passado na peneira de 19,1 mm, com o objetivo de desmanchar os torrões ainda existentes, sem forças exageradas.

Após o procedimento descrito acima, fazer-se o que se indica na tabela 1:

Tabela 1- Procedimento após o peneiramento

Peneira (mm)	Material retido (% em peso)	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Observação
4,8	menor que 7	grande ou pequeno	desprezar o material retido
19,1	menor que 10	grande	desprezar o material retido
19,1	maior que 10	grande	ver nota abaixo
19,1	Maior que 30	-	recomenda-se não ensaiar de acordo com o método de ensaio de compactação de solos ¹

Nota: Passar o material retido na peneira de 19,1 mm através da de 76,2 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na peneira de 19,1 mm e que passe na de 76,2 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na de 19,1 mm.

Fonte: NBR 6457

As quantidades de amostras a serem utilizadas estão na tabela a seguir (tabela 2):

Tabela 2- Quantidade de amostra a ser tomada

Ensaio de compactação	A amostra preparada passa integralmente na peneira (mm)	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Quantidade de amostra (em massa seca) a ser tomada (kg)
Com reuso de material	4,8	pequeno grande	3 7
	19,1	grande	7
Sem reuso de material	4,8	pequeno grande	15 35
	19,1	grande	35

Fonte: NBR 6457

Segundo a NBR 6457, a preparação das amostras para os ensaios de caracterização deve seguir os procedimentos a seguir:

A amostra para os ensaios de granulometria será seca pelo procedimento de secagem prévia, onde estas serão expostas ao ar, até próximo da umidade higroscópica.

Em seguida os torrões são desmanchados e separadas as amostras em frações menores onde serão ensaiadas, estas por sua vez são passadas na peneira de 76 mm, desprezando o material retido.

Sobre essas frações menores, levar em conta as quantidades designadas na tabela 3:

Tabela 3- Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensões dos grãos maiores contidos na amostra, determinada por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (kg)
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

Nota: O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Fonte: NBR 6457

Segundo ainda a norma NBR 6457, para os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, as amostras seguem os mesmos procedimentos preliminares descritos anteriormente: secagem prévia e redução do número dos torrões.

Serão divididos em 3 quantidades onde serão passados as amostras em 3 peneiras: 0,42 mm, 4,8 mm e de 76 mm.

Passa-se as amostras na peneira de 0,42 mm, de modo a se ter cerca de 200g de material passado. Este material obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Passa-se as amostras na peneira de 4,8 mm, de modo a ter cerca de 500g de material passado. Este material obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Passa-se as amostras na peneira de 76 e 4,8 mm, de modo que se tenha um material passado na peneira de 76 e retido na peneira de 4,8mm em função das dimensões dos grãos maiores, conforme indicado na tabela 4.

Tabela 4- Quantidade de amostra para determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, com secagem prévia

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (kg)
< 25	2
25 a 50	8
50 a 76	16

Nota: O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Fonte: NBR 6457

2.5.3 EXIGÊNCIAS PARA MATERIAIS DE REFORÇO DO SUBLEITO, SUB-BASE E BASE

- Para reforço do subleito: as características geotécnicas deverão ser superiores à do subleito, demonstrados pelos ensaios de ISC. E de caracterização (granulometria, LL, LP).

- Para reforço de sub-base granulométricamente estabilizada: $ISC^3 \geq 20$ e Índice de grupo $IG = 0$, para qualquer tipo de tráfego.

- Para base estabilizada granulométricamente:

I – Limite de Liquidez máximo

II – 25% índice de Plasticidade máximo: 6%

III – Equivalente de Areia mínimo: 30%

Caso o Limite de Liquidez seja maior que 25% e/ou índice de plasticidade, maior que 6, poderá o solo ser usado em base estabilizada, desde que apresente Equivalente de Areia maior que 30%, satisfaça as condições de Índice Suporte Califórnia e se enquadre nas faixas granulométricas citadas adiante. O Índice Suporte Califórnia deverá ser maior ou igual a 60 para qualquer tipo de tráfego; a expansão máxima deverá ser 50%. Poderá ser adotado ISC até 40, quando economicamente justificado, em face da carência de matérias e prevendo-se a complementação da estrutura do pavimento pedida pelo dimensionamento pela construção de outras camadas betuminosas (DNIT IPR -719).

2.6 ESTUDO DE TRÁFEGO

2.6.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do Dnit (2006) a Área de Estudo de um projeto viário compreende o espaço geográfico ocupado pelas vias do projeto e as áreas que diretamente ou indiretamente o afetam. Observa-se que não existem regras exatas para definição da área de estudo. Resumidamente, essa área está ligada a três variáveis:

- Origem e Destino dos veículos;
- Opções de rotas na rede existente;
- Interferência dos fluxos de longa distância.

A origem e destino, já implica numa referência no espaço, ou seja, uma demarcação territorial preliminar, que poderá ser aumentada ou reduzida quando forem consideradas as demais variáveis citadas. Não há, pois, como evitar um processo metodológico iterativo ou de aproximações sucessivas na delimitação da área.

Inicialmente, ela deve ser demarcada com base no conhecimento dos indicadores econômicos disponíveis, no comportamento do tráfego e nos objetivos da análise a ser procedida.

A área de estudo pode ser tratada a dois níveis distintos:

–Área de Influência Direta: é a área servida pelos trechos viários objeto do estudo e por trechos das vias de acesso de maior influência. Nesse campo serão realizados as pesquisas de tráfego necessárias, envolvendo contagens volumétricas, pesquisas de origem e destino, medições de velocidades, etc. Sua delimitação é feita por uma linha (cordão externo), que passará por pontos que se prestem à coleta de informações do padrão de viagens entre a área de influência direta e a área exterior ao cordão; poderá incluir trechos de ferrovias ou rodovias, rios, cumes de morros, etc. que delimitem de forma adequada a área.

–Área de Influência Indireta: é a área fora do cordão externo com influência sensível na geração de viagens que utilizem trechos viários objeto do estudo.

Na definição precisa dessas áreas deve-se avaliar os limites políticos, administrativos e censitários, já que as informações socioeconômicas disponíveis se referem normalmente a esses limites.

2.6.2 ESTABELECIMENTO DAS ZONAS DE TRÁFEGO

A fim de facilitar a obtenção e posterior análise das informações a respeito do tráfego, a área de estudo deverá ser dividida em zonas.

Cada zona deverá ser definida de modo que qualquer viagem com origem ou destino nessa zona possa ser considerada como partindo ou chegando a um ponto determinado da mesma (centroide). O centroide é a representação pontual da zona. É como se todos os dados pesquisados e analisados estivessem concentrados nesse ponto. Corresponde ao centro de gravidade das viagens geradas.

A delimitação das zonas de tráfego é feita por aproximações contínuas.

Em princípio, os polos de geração e de atração de viagens devem ser identificados com os municípios e o seu conjunto ser enquadrado, quando possível, dentro dos limites das microrregiões homogêneas do IBGE (limites políticos, administrativos e censitários). Esse procedimento é particularmente adequado para os estudos de tráfego, pelo alto grau de correlação frequentemente encontrado entre os dados correspondentes às microrregiões e à geração do tráfego. O tamanho da zona é função da concisão desejada nos estudos; quanto menores maior a precisão. Para sistemas de rodovias rurais o zoneamento pode ser a nível de município e/ou distrito; em estudos urbanos, a nível de bairros com características homogêneas. Barreiras físicas tais como rios, canais, ferrovias, etc., podem levar à subdivisão de áreas em mais de uma zona. As zonas externas são geralmente de dimensões bem maiores que as internas, e seu tamanho vai aumentando à medida que se afastam da área de influência direta. Servem geralmente para reunir todas as viagens que passam em um mesmo ponto do cordão externo, com origem ou destino fora do cordão.

As viagens com origem e destino em uma mesma zona constituem o tráfego local e seu volume cresce com as dimensões da zona. Recomenda-se que o tráfego local não exceda 15% do total das viagens; caso contrário a área da zona deve ser reduzida. A divisão da área de estudo em zonas aponta atender às seguintes finalidades:

- Agrupar os dados de viagens com origem (destino) próximos, de modo a reduzir os números de origens e destinos a serem considerados, simplificando desta forma a distribuição do tráfego e a sua alocação nos trechos viários do sistema;
- Fornecer a base para a determinação das viagens atuais e futuras, necessária à estimativa dos fluxos de tráfego e ao cálculo de suas taxas de crescimento;
- Permitir o tratamento estatístico dos fatores de geração de tráfego em termos de regiões homogêneas.

As zonas terão embasamento nos estudos econômicos e de tráfego para projeção da demanda de transportes.

2.6.3 INFORMAÇÕES BÁSICAS

Serão coletados dados sobre as características e padrão das viagens atuais na área de estudos, com vistas a conhecer os deslocamentos. Procuram-se então estabelecer relações entre os números de viagens realizadas e variáveis sócio econômicas que possam explicá-las, de modo a possibilitar a determinação dos desejos de deslocamentos no futuro. Para tanto, três tipos de informações são necessárias:

a) Padrão de Viagens

Pesquisas de Origem e Destino associadas a Contagens de Volume permitem chegar a uma compreensão geral da atual estrutura de movimentos.

São coletadas informações sobre número e tipo de deslocamentos, incluindo: movimentos de veículos de passageiros ou carga, tipos de cargas transportadas, origens e destinos das viagens, motivos de viagem, tempo se distâncias percorridas, modos de transporte, natureza dos locais de origem e destino, distribuição durante o dia etc. Eventualmente há necessidade de planejar as pesquisas em diferentes épocas do ano, para identificar variações sazonais.

Pesquisas feitas no Cordão Externo permitem cobrir as viagens com origem e/ou destino na área de influência indireta. Para viagens com origem e destino na área de influência direta são feitas pesquisas dentro dessa área.

b) Sistemas de Transportes

O levantamento dos sistemas de transportes é de fundamental importância para as fases de distribuição e alocação de tráfego. Deverá incluir dados tão completos quanto necessário relativos a localização e características físicas das vias, transportes públicos existentes, volumes de tráfego, capacidade do sistema, velocidades médias dos fluxos, tempos de percurso, etc.

c) Dados Socioeconômicos

Visa coletar dados relacionados com aspectos socioeconômicos, tais como:

- População rural e urbana;
- Densidade demográfica;
- Distribuição etária;
- População economicamente ativa;
- Renda do setor primário (lavoura, produção animal e derivados, extração vegetal);
- Renda do setor secundário (valor da transformação industrial – censo industrial);
- Renda do setor terciário (renda do comércio atacadista e varejista);
- Renda “per capita”;
- Frota;
- Consumo de energia elétrica;
- Número de estabelecimentos por setor.

Estes dados podem ser obtidos junto ao IBGE, FGV e Planos Diretores Rodoviários.

Muitas vezes as variáveis mencionadas não são encontradas a nível dos zoneamentos de tráfego adotados, surgindo a necessidade de se efetuar pesquisas complementares, tais como pesquisas de uso do solo, pesquisas de origem e destino e pesquisas socioeconômicas.

2.6.4 PESQUISA DE TRÁFEGO

Os procedimentos normalmente utilizados na engenharia de tráfego para levantamentos de dados de campo são as pesquisas, que podem ser feitas mediante entrevistas ou por observação direta.

Nas entrevistas, o processo consiste em obter a informação formulando perguntas orais ou escritas ao usuário, classificando suas respostas de acordo com certos padrões estabelecidos. Na observação direta, registra-se os fenômenos de trânsito como são, sem perturbá-los.

2.6.5 PESAGENS DE VEÍCULOS

As Pesagens têm por objetivo conhecer as cargas por eixo com as quais os veículos de carga solicitam a estrutura, para efeito de estatística, fiscalização, controle, avaliação e dimensionamento do pavimento.

2.7 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Senço (1997), afirma que o dimensionamento de um pavimento consiste na determinação das espessuras das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, de forma que essas camadas sejam aceitáveis para resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes da passagem dos veículos ao subleito, sem que o conjunto sofra ruptura, deformações consideráveis ou desgaste superficial excessivo.

Para Senço, 1997, no dimensionamento, considera-se que as cargas aplicadas são estáticas, porém a estrutura é submetida a cargas repetidas o que acarreta em deformações permanentes e elásticas com intensidade de acordo com o número destas repetições.

Para Pinto, 2002, o dimensionamento de um pavimento compreende as seguintes etapas principais:

- Determinação dos materiais que constituirão cada camada;
- Especificação dos sistemas de drenagem subterrânea a subsuperficial necessários de acordo com as características do subleito;
- Comparativo econômico entre as várias soluções no que diz respeito a materiais disponíveis e ao transporte necessário;
- Investigações geotécnicas dos solos e materiais disponíveis o que afeta diretamente no custo de construção;
- Conhecimento das características climáticas da região onde será implantado o projeto, visto que o pavimento sofre diretamente a ação climática o que acarreta na intemperização de suas camadas superficiais;
- Pleno conhecimento da natureza das cargas decorrentes do tráfego, e

que levam a fadiga dos materiais. Esse é um importante aspecto que deve ser levado em consideração no dimensionamento do pavimento.

Os métodos de dimensionamento podem ser classificados basicamente em: métodos mecanísticos, métodos empíricos e os métodos técnico-experimentais.

2.7.1 MÉTODO DO DNER

Segundo Baptista (1978), o método foi desenvolvido pelo engenheiro Murilo de Souza Lopes, e tem como base as características de suporte do subleito, o número de repetições de um eixo de carga padrão de 8,2t e a vida útil esperada para a estrutura.

O método tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", de autoria de W. J. Tumbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 160).

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na Pista Experimental da AASHTO, com modificações julgadas oportunas.

A Capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificada para o serviço.

O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactadas de acordo com os valores fixados nas "especificações Gerais", recomendando-se que, em nenhum caso, o grau de compactação calculado estaticamente deve ser inferior a 100% do que foi especificado.

Para solos granulares com granulação grossa deverá ser empregada a energia de compressão correspondente ao proctor modificado.

Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$.

Classificação dos materiais empregados no pavimento.

- a) Materiais para reforço do subleito, os que apresentam C.B.R. maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- b) Materiais para sub-base, os que apresentam C.B.R. $\geq 20\%$, I.G. = 0 e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- c) Materiais para base, os que apresentam: C.B.R. $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb), Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$

Caso o limite de liquidez seja superior a 25% e/ou índice de plasticidade seja superior a 6; o material pode ser empregado em base (satisfeitas as demais condições), desde que o equivalente de areia seja superior a 30.

Para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, podem ser empregados materiais com C.B.R. $\geq 60\%$ e as faixas granulométricas E e F citadas na tabela 1.

Os materiais para base granular devem ser enquadrar numa das seguintes faixas granulométricas (Tabela 5):

Tabela 5- Granulometria para base granular

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$			Para $N < 5 \times 10^6$			Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

A fração que passa na peneira nº 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira nº 40. A fração graúda deve apresentar um desgaste Los

Angeles igual ou inferior a 50. Pode ser aceito um valor de desgaste maior, desde que haja experiência no uso do material.

Em casos especiais podem ser especificados outros ensaios representativos da durabilidade da fração graúda.

Para o caso de materiais lateríticos, as "especificações Gerais" fixarão valores para expansão, índices de consistência, granulometria e durabilidade da fração graúda.

2.7.1.1 DETERMINAÇÃO DO NUMERO "N"

Tráfego - O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido.

Sendo VI o volume médio diário de tráfego no ano de abertura, num sentido e admitindo-se uma taxa t% de crescimento anual, em progressão aritmética, o volume médio diário de tráfego, Vm, (num sentido) durante o período de P anos, será:

$$Vm = \frac{V1[2+(P-1)t/100]}{2} \quad (14)$$

O volume total de tráfego, (num sentido) durante o período, Vt, será:

$$Vt = 365xPxVm \quad (15)$$

Admitindo-se uma taxa t% de crescimento anual em progressão geométrica, o volume total do tráfego, Vt, durante o período é dado por:

$$Vt = \frac{365 V1[(1+t/100)^{(P)} - 1]}{t/100} \quad (16)$$

Conhecido Vt, calcula-se N, que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento.

$$N = Vt \times (F.E) \times (F.C) \text{ OU } N = Vt \times F.V \quad (17)$$

F.E é um fator de eixos, isto é, um número que, multiplicado pelo número de veículos, dá o número de eixos correspondentes.

F.C é um fator de carga, isto é, um número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, dá o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

F.V é um fator de veículo, isto é, um número que multiplicado pelo número de veículos que operam, dá, diretamente, o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

Para o cálculo de F.E, F.C e F.V, é necessário conhecer a composição de tráfego. Para isto, é necessário fazer uma contagem do tráfego na estrada que se está considerando, estudando-se um certo volume total do tráfego, Vt (para o período de amostragem).

Tem-se:

$$n = Vt \times (F.E) \quad (18)$$

Com os dados de pesagem, organiza-se uma tabela (Tabela 6), como o seguinte, agrupando-se os diversos eixos por intervalos de carga, representados pelo seu ponto central:

Tabela 6- Determinação do fator de operações

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

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

Os valores da coluna 3 refere-se ao fator de equivalência. Os valores da coluna 4 são os produtos dos valores da coluna 2 pelos da coluna 3. O somatório dos valores da coluna 4 representa o produto 100 x (F.C), isto é, Equivalência = 100 F.C

Normalmente, o cálculo de N é feito de acordo com as seguintes etapas:

- a) Cálculo de V_t através de dados estatísticos da estrada que se está considerando, incluindo-se a fixação de V_i (onde devem ser levados em conta os tráfegos gerado e desviado), do tipo de crescimento e de sua taxa t . O cálculo de V_t pode ser feito também em face de um estudo econômico da região.
- b) Cálculo de $F.V$, através dos $F.V$ individuais ($F.V_i$) para as diferentes categorias de veículos, determinadas numa estação de pesagem representativa da região e das percentagens P_i (determinada no item a) com que estas categorias de veículos ocorrem na estrada que está sendo considerada.

$$F.V = \frac{\sum(P_i) \times (F.V_i)}{100} \quad (19)$$

Os diferentes veículos são classificados pelo DNIT nas seguintes categorias:

- a) automóveis
- b) ônibus
- c) caminhões leves, com dois eixos simples, de rodas simples
- d) caminhões médios, com dois eixos, sendo o traseiro de rodas duplas
- e) caminhões pesados, com dois eixos, sendo o traseiro "tandem"
- f) reboques e semi-reboques: as diferentes condições de veículos, em unidades múltiplas.

Os $F.V_i$ para automóveis e caminhões leves (embora calculáveis) são desprezíveis, interessando especialmente, os $F.V_i$ para caminhões médios, pesados e reboques e semi-reboques.

Fator climático Regional - Para levar em conta as variações de umidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano (o que se traduz em variações de capacidade de suporte dos materiais) o número equivalente de operações do eixo-padrão ou parâmetro de tráfego, N , deve ser multiplicado por um coeficiente ($F.R.$) que, na pista experimental da AASHTO, variou de 0,2 (ocasião em que prevalecem baixos teores de umidade) a 5,0 (ocasiões em que os materiais estão praticamente saturados). É possível que, estes coeficientes sejam diferentes, em função da diferença de sensibilidade à variação do número N ; é possível, ainda, pensar-se num fator climático que afetaria a espessura do

pavimento (em vez do número N), e que seria, ao mesmo tempo, função desta espessura.

O coeficiente final a adotar é uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais, levando-se em conta o espaço de tempo em que ocorrem. Parece mais apropriado a adoção de um coeficiente, quando se toma, para projeto, um valor C.B.R compreendido entre o que se obtém antes e o que se obtém depois da embebição, isto é, um valor correspondente à umidade de equilíbrio. Tem-se adotado um $FR = 1,0$ face aos resultados de pesquisas desenvolvidas no IPR/DNER.

2.7.1.2 COEFICIENTE DE EQUIVALÊNCIA

São os seguintes os Coeficientes de equivalência estrutural para os diferentes materiais constitutivos do pavimento (Tabela 7):

Tabela 7- Coeficiente de Equivalência Estrutural

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

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

Os coeficientes estruturais são designados, genericamente por:

- Revestimento: KR
- Base: KB
- Sub-base: KS
- Reforço: KRef

2.7.1.3 ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer se trate de evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. As espessuras a seguir recomendadas, Tabela 8, visam especialmente as bases de comportamento puramente granular e são definidas pelas observações efetuadas.

Tabela 8- Espessura mínima de revestimento betuminoso

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

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

As espessuras de base (B), sub-base (h20) e reforço de subleito (hn), são obtidas através da solução sucessiva das seguintes inequações:

$$(R \times KR) + (B \times KB) \geq H_{20} \quad (20)$$

$$(R \times KR) + (B \times KB) + (h_{20} \times KS) \geq H_n \quad (21)$$

$$(R \times KR) + (B \times KB) + (h_{20} \times KS) + (h_n \times K_{Ref}) \geq H_m \quad (22)$$

Onde :

KR: coeficiente de equivalência estrutural do pavimento;

R: espessura do revestimento;

KB: coeficiente de equivalência estrutural da base;

B: espessura da base;

H₂₀: espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base;

KS: coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

h₂₀: espessura da sub-base;

H_n: espessura de revestimento necessária para proteger o reforço de subleito;

K_{Ref}: coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito;

h_n: espessura do reforço de subleito;

H_m: espessura total de pavimento necessária para proteger o material com CBR igual em %.

A utilização das inequações acima deve respeitar as seguintes considerações:

- Caso o CBR da sub-base seja superior a 20%, deve-se utilizar o valor máximo de 20%;
- A espessura total mínima para as camadas granulares é de 15 cm;
- Se o CBR da sub-base for maior ou igual a 40% e o $N \leq 10^6$, substitui-se na inequação, $(R \times KR) + (B \times KB) \geq H_{20}$, H₂₀ por 0,8 x H₂₀;
- Para $N > 10^7$, recomenda-se substituir na inequação $(R \times KR) + (B \times KB) \geq H_{20}$, H₂₀ por 1,2 x H₂₀.

As espessuras H_m, H_n e H₂₀, são determinadas pela equação a seguir, em função do número N e do CBR.

$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598} \quad (23)$$

Devem ser levadas em consideração as seguintes observações (BRASIL, 50 2006a):

- Supõe-se que exista uma drenagem superficial adequada e que garanta que o lençol freático fique rebaixado a pelo menos 1,5 m em relação ao greide de terraplenagem;
- No caso da existência de materiais de subleito cujo CBR seja $< 2\%$, é sempre recomendável que seja feita a substituição deste material a uma espessura de pelo menos 1m por um material cujo CBR seja $< 2\%$ (Recomenda-se $\text{CBR} \geq 10\%$);
- As espessuras máximas e mínimas para compactação das camadas granulares são 20 cm e 10 cm, respectivamente.
- No que diz respeito ao dimensionamento de acostamentos, pode-se dizer que basicamente a estrutura definida é a mesma adotada para a pista de rolamento, variando-se apenas a espessura e a categoria o material da camada de revestimento. Para Pinto e Preussler (2002, p. 173), “a adoção nos acostamentos da mesma estrutura da pista de rolamento, tem efeitos benéficos no comportamento desta última e simplifica os problemas de drenagem.”

3 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se do dimensionamento de um pavimento, que foi realizado para a obtenção de resultados providos de um estudo do subleito, onde foram realizados por meio de ensaios na região da cidade de Gurupi-TO.

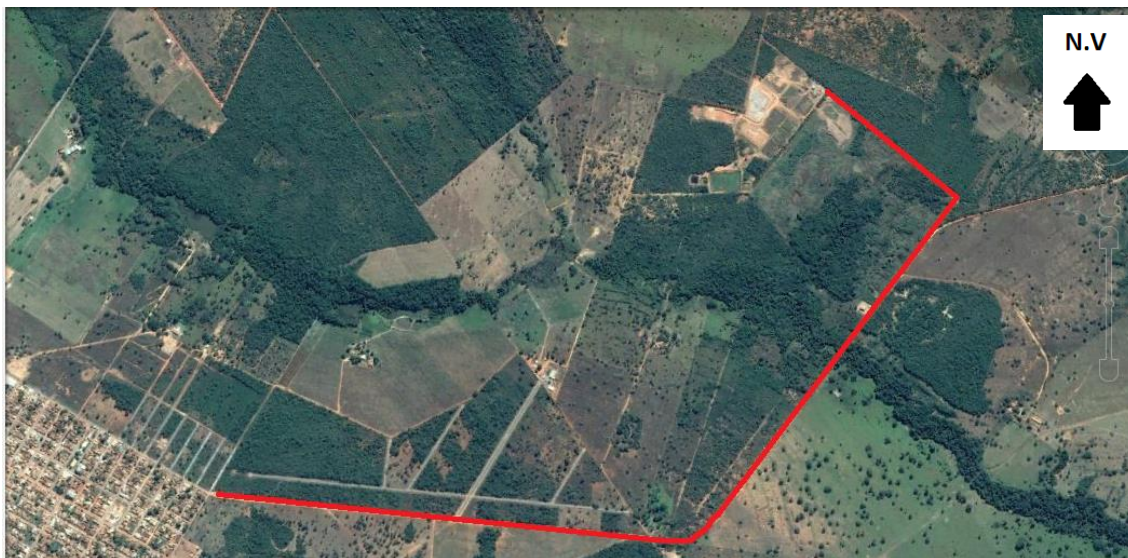
Os dados da pesquisa foram qualificados e analisados, a partir de então o método abordado na pesquisa é quantitativo.

O trecho estudado compreende entre a cidade de Gurupi-TO e Ipueiras-TO. A rodovia possui uma largura de 10 metros e a extensão do trecho a ser estudado de 4,5 quilômetros.

3.1 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo foi realizado na cidade de Gurupi-TO na TO-365 como apresentado na figura 10.

Figura 10 - Trecho da rodovia TO-365



Fonte: Google Earth Pro- 2016

3.2 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o espaçamento máximo, entre dois furos de sondagem no sentido longitudinal, é de 100 m a 200 m, tanto em corte como em aterro, devendo diminuir este espaçamento, no caso de haver diferença de tipos de solos em áreas menores. Nos pontos de passagem de corte para aterro devem ser realizados também furos de sondagem.

Por se tratar de um estudo de graduação com objetivo específico apenas o conhecimento sobre este assunto abordado durante todo este trabalho, não foram realizados todos os furos recomendados pela norma, visto que, para um trecho de 4,5 km, seriam necessários cerca de 23 furos, intercalados entre as bordas direita e esquerda da rodovia, espaçados de 100 a 200 metros.

A partir do exposto, implicamos dois locais onde foram retiradas amostras de solo ensaiados em laboratório, que estão localizados no início e no final do trecho, à cerca de 1 km e 3 km de distâncias, respectivamente, em relação ao local onde termina o asfalto da rua Perimetral Norte.

3.2.1 LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAJEM

Ponto 1: Latitude 11°42'47.58" S

Ponto 2: Latitude 11°42'11.27"S

Longitude 49°2'24" O

Longitude 49°1'1.66"O

DATUM = WGS 84

MC = - 51° WGR

Os pontos estão demonstrados na figura 11.

Figura 11- Pontos determinados



Fonte: Google Earth Pro- 2016

A seguir seguem as imagens do local onde foram extraídas amostras de solo de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), figuras 12 e 13:

Figura 12- Início do trecho onde serão recolhidas amostras de solo - Ponto 1



Fonte: arquivo pessoal - 2017

Figura 13- Fim do trecho onde serão recolhidas amostras de solo - Ponto 2



Fonte: arquivo pessoal – 2017

3.3 MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA COLETA DAS AMOSTRAS:

- Escavadeira manual
- Sacos plásticos
- Prancheta e caneta
- Celular com câmara fotográfica

3.4 COLETA DAS AMOSTRAS

Segundo Manual de Pavimentação DNIT-IPR 719 (2006), a profundidade dos furos de sondagem é, de modo geral, de 0,60 m a 1,00 m abaixo do greide projetado para a regularização do subleito. Furos adicionais de sondagem com profundidade de até 1,50 m abaixo do greide projetado para regularização

poderão ser realizados próximos ao pé de talude de cortes, para verificação do nível do lençol de água e da profundidade de camadas rochosas.

Neste trabalho foi realizado inicialmente, com o auxílio da ferramenta escavadeira um furo de 1(um) metro de profundidade nos locais designado no item 3.2 deste trabalho.

Uma ocorrência é considerada satisfatória para a prospecção definitiva, quando os materiais coletados e ensaiados, satisfazem as especificações vigentes, ou quando houver a possibilidade de correção, por mistura, com materiais de outras ocorrências.

Os furos de sondagem foram numerados, com o número designado para cada trecho da estrada em questão, ponto 1 e ponto 2, seguidos das letras E, C ou D, conforme estavam situados no bordo esquerdo, eixo ou bordo direito e foi anotado o tipo de seção: corte, aterro, seção mista ou raspagem, com as iniciais C, A, SM, R.

3.5 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados no laboratório de solos do CEULP- ULBRA de Palmas- TO, estes foram feitos segundo as normas de Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cada ensaio orientado pela sua respectiva norma:

- Granulometria: DNER – ME 051/94 e NBR 7181
- Limite de Liquidez: DNER – ME 122/94 e NBR 6459
- Limite de Plasticidade: NBR 7180
- Índice de Suporte Califórnia: DNER – ME 049/94 e NBR 9895
- Compactação: NBR 7182
- Classificação dos solos: manual de pavimentação do DNIT IPR-719

3.5.1 GRANULOMETRIA

Este ensaio pode ser feito de três tipos: peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação, este último não foi realizado.

No peneiramento grosso, primeiro foi passado o material das amostras como definido no item 2.5.1 deste trabalho, na peneira de 2,0 mm, tomando a preocupação de desmanchar os torrões ainda existentes, depois lavou-se a parte retida na peneira de 2 mm com a intenção de eliminar o material fino aderente e secou-se na estufa a 105 °C /110 °C, até constância de massa.

Figura 14- lavando na peneira de 2.0 mm



Pesou-se o material retido na peneira de 2,0 mm, com a balança de resolução de 0,01g, e passou o material na série completa das peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8mm.

No peneiramento fino, foi utilizado o material que ficou retido na peneira 0,075 mm, o qual foi levado para estufa. De modo que, a amostra de solo seco é então peneirada nas peneiras de diâmetros 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075mm e anotados o peso.

Figura 15- jogo de peneiras



3.5.2 LIMITE DE LIQUIDEZ

Este ensaio foi realizado com amostras preparadas com secagem prévia, inicialmente colocou-se parte da amostra no recipiente de porcelana e aos poucos adicionado água até a homogeneização da massa; este tempo de homogeneização foi compreendido em torno de 15 minutos.

Transferiu-se para a concha do aparelho de Casagrande certa quantidade dessa massa de tal forma que a parte central ficou com 1 cm de espessura;

Fez-se com o cinzel uma ranhura no meio da massa, no sentido do maior comprimento do aparelho; dividindo a massa de solo em duas partes.

Figura 16 - aparelho casagrande



Girou-se a manivela à razão de duas voltas por segundo, contando o número de golpes até que se constatou o fechamento da ranhura num comprimento de 1,3 cm quando se parou a operação;

Transferiu-se uma pequena quantidade do material no local onde as bordas da ranhura se tocaram para a determinação da umidade;

Transferiu-se o material de volta ao recipiente de porcelana, acrescentando mais um pouco d'água e repetiu-se o processo por mais quatro vezes.

3.5.3 LIMITE DE PLASTICIDADE

Foi separado cerca de 200 gramas de material (seco ao ar) que passou na peneira #40 (0,42mm).

Depois foi feito a homogeneização da massa, colocando parte da amostra no recipiente de porcelana e adicionado água, por cerca de 15 minutos.

Foi moldado uma quantidade de 10g da massa em forma elipsoidal rolando-a em seguida sobre a placa de vidro, até que fissurasse em pequenos fragmentos.

Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetros de 3mm e comprimento de 100mm, este foi transferido para um recipiente adequado onde foi determinado a umidade.

Figura 17- corpo de prova em forma elipsoidal



Este procedimento foi repetido o processo por mais quatro vezes, para obter novos valores de umidade.

3.5.4 COMPACTAÇÃO DE SOLOS

Esse ensaio foi realizado para obtenção da umidade ótima necessária para o ensaio de ISC.

No ensaio de compactação, as amostras coletadas foram secadas ao ar e depois destorroadas com o almofariz, obtendo uma amostra representativa de 5kg no estado natural. Em seguida, a amostra foi passada na peneira de 4,8mm.

Após esse processo o solo foi misturado com água necessária para atingir a umidade ótima, até que se tornasse homogêneo.

Após a homogeneização, foi feita a sua compactação, dando atenção ao soquete, número de camadas e número de golpes por camada correspondente a energia desejada.

Figura 18- Compactando o solo



Após a compactação da última camada, retirou-se o cilindro depois de escarificar o material, podendo ter um excesso de no máximo 10mm de solo compactado acima do molde que foi removido.

Foi pesado o conjunto, com resolução de 1g, e subtraído o peso do molde para obtenção do resultado do peso úmido do solo compactado.

Foi destorroado o material, até que se passou integralmente na peneira de 4,8mm ou na de 19mm, respectivamente, conforme a amostra, após preparada, tenha ou não passado integralmente na peneira de 4,8mm.

O material obtido foi posto juntamente com o que sobrou na bandeja, para ser adicionado água.

Este procedimento foi feito por mais cinco vezes até se obter 5 pontos, entre eles, dois no ramo seco, um próximo a umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação.

3.5.5 ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA

Após os corpos de prova moldados no ensaio de compactação, estes foram utilizados nos ensaios de expansão e penetração.

Ensaio de expansão: foi retirado o disco espaçador de cada corpo de prova, invertidos e fixados nos seus respectivos pratos-base perfurados.

Inicialmente fez-se a leitura inicial e imergido os corpos de prova no tanque, cada corpo de prova permaneceu no banho durante 4 dias, onde foram, realizadas leituras no extensômetro de 24 em 24 horas.

Figura 19- Amostras imersas



Terminado este período, os corpos de prova foram retirados do tanque e deixados escoar a água durante cerca de 2 horas. Após este tempo o corpo de prova estava apto a realização da penetração.

Ensaio de penetração: o conjunto foi transportado até a prensa onde foram submetidos à penetração do pistão, pela aplicação de uma carga de aproximadamente 45N, com velocidade de 1,27 mm/min,

Fez-se leituras nos tempos de 0,5; 1; 1,5; 2; 4 e 6 minutos. Posteriormente, com os valores obtidos, fez-se as correlações conforme descrito em norma para a obtenção dos resultados finais.

Figura 20- Leituras do ensaio



3.5.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O pavimento a ser construído na rodovia TO-365, será realizado através do método empírico do DNER, desenvolvido pelo engenheiro Murilo Souza de Lopes, este, dimensiona o pavimento para que seja capaz de resistir rupturas por cisalhamento e deformações pertinentes.

Para dar início ao dimensionamento, o primeiro passo a ser seguido é a determinação do número de operações, o qual foi feito mediante contagem de

veículos trafegados na rodovia TO 365 em um ponto determinado, cujo foi no Ponto 1, designado no item 3.2 deste trabalho.

Em função do número N que foi designado, determinou-se a espessura e o tipo de revestimento a ser adotado.

A espessura encontramos na tabela 8 do item 2.7.1.3.

Posteriormente, foram estabelecidos os coeficientes para os materiais destinados o revestimento, a base, e sub-base, conforme tabela 7 do item 2.7.1.2.

Com os coeficientes já determinados calculou-se a espessura de cada camada, conforme as fórmulas (20), (21), (22) mencionadas no item 2.7.1.3.

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO

A partir dos dados obtidos no ensaio de análise granulométrica pode-se conhecer a distribuição granulométrica do agregado e representá-la através de uma curva. Possibilitando assim a determinação de suas características físicas.

Analisando os dados apresentados para o peneiramento, pode-se primeiramente realizar a classificação dos solos conforme o sistema unificado de classificação de solos do DNIT, apresentado na figura 21. O material coletado da base foi classificado em GC (PEDREGULHOS ARGILOSOS, OU MISTURA DE PEDRA, AREIA E ARGILA), verificou-se também que o material ensaiado está de acordo com a especificação de serviço DNER-ES303-97, que estabelece critérios para aceitação do material utilizado em bases de pavimentos, na qual consta que, quando submetidos ao ensaio de análise granulométrica por peneiramento, o material deve se enquadrar em uma das faixas padrões, conforme apresentado na figura 22.

Figura 21- Sistema unificado de classificação de solos

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com $LL \leq 50$	ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES e ARGILAS com $LL > 50$	MH	Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: DNIT (2006)

Tabela 9- Índices físicos - granulometria - base

GRANULOMETRIA - NBR - 7181				
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
25,4	57,4	6,07	6,07	93,93
19,1	94,1	9,95	16,02	83,98
9,5	162,5	17,19	33,21	66,79
4,8	231,6	24,49	57,70	42,30
2	138,9	14,69	72,40	27,60
1,19	14,1	1,49	73,89	26,11
0,6	13,7	1,45	75,34	24,66
0,42	18,3	1,94	77,27	22,73
0,25	52,8	5,58	82,86	17,14
0,15	35,2	3,72	86,58	13,42
0,074	58	6,13	92,71	7,29
< 0.074	68,9	7,29	100,00	0,00
Σ	945,5	100,00		

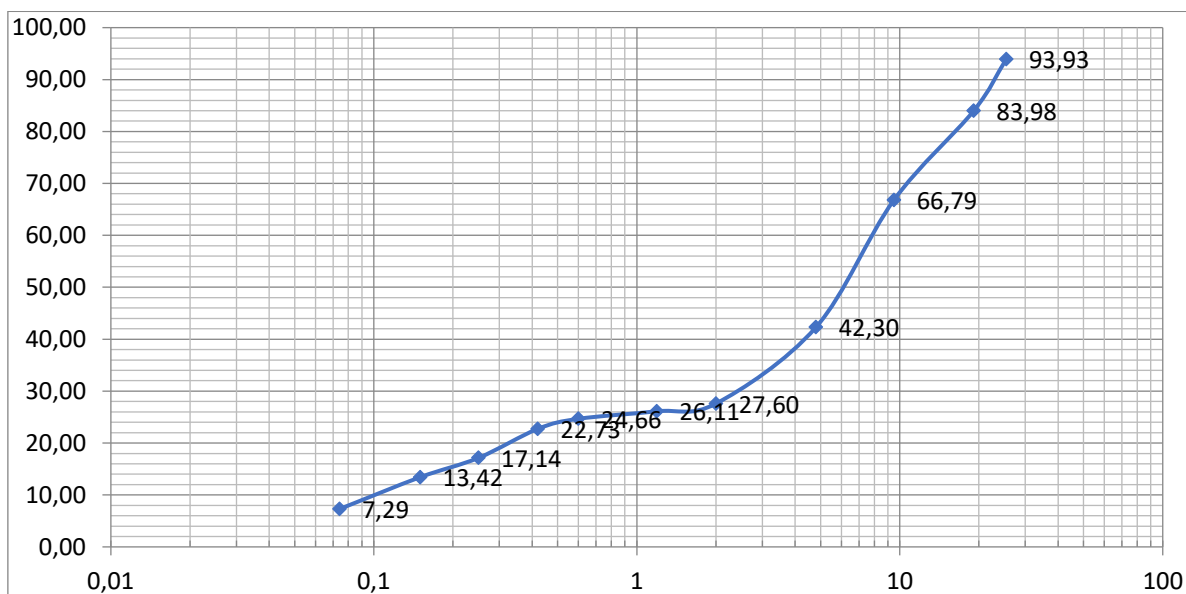
Figura 22-Faixas Granulométricas

Tipos	Para N > 5 x 10⁶			Para N < 5 x 10⁶			Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

Fonte: DNIT (2006)

Pode-se perceber com a curva granulométrica que o material está compreendido dentro dos limites da faixa C, adequado para rodovias com $N > 5 \times 10^6$, material empregado para base com $ISC \geq 80\%$.

Figura 23- Curva granulométrica- base

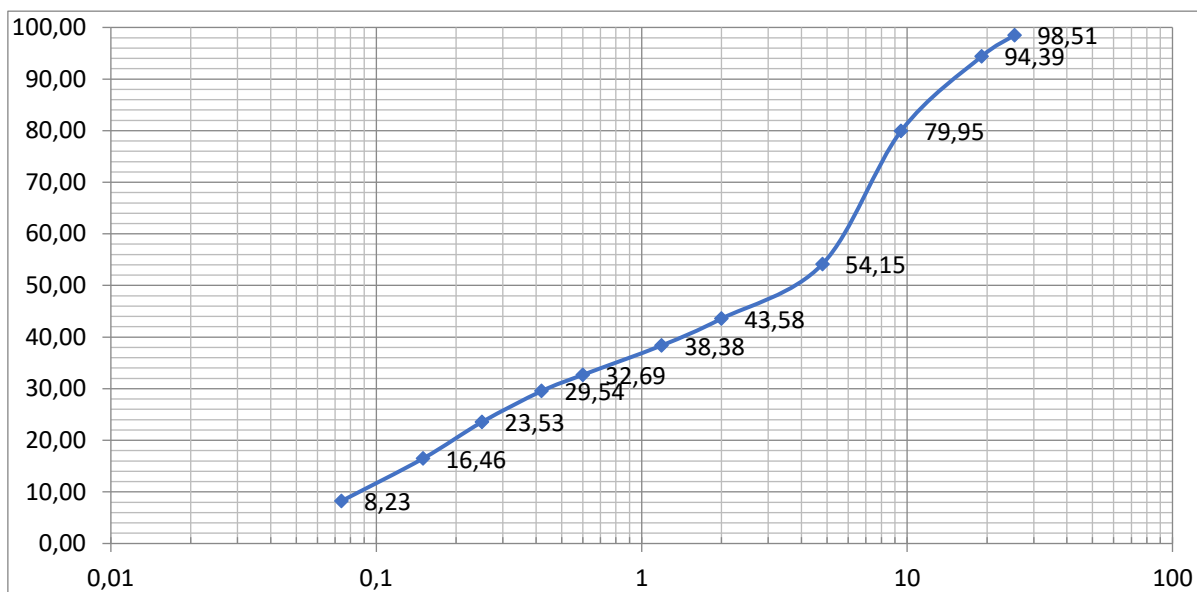


Para o subleito, a definição do tipo do material coletado conforme figura 18 é o CL (ARGILA INORGÂNICA DE MÉDIA E BAIXA PLASTICIDADE), respeitando também a especificação de serviço DNER-ES 299-97.

Tabela 10- Índices físicos - granulometria - subleito

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181				
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
25,4	12,3	1,49	1,49	98,51
19,1	33,9	4,12	5,61	94,39
9,5	118,9	14,44	20,05	79,95
4,8	212,5	25,80	45,85	54,15
2	87,1	10,58	56,42	43,58
1,19	42,8	5,20	61,62	38,38
0,6	46,9	5,69	67,31	32,69
0,42	25,9	3,14	70,46	29,54
0,25	49,5	6,01	76,47	23,53
0,15	58,2	7,07	83,54	16,46
0,074	67,8	8,23	91,77	8,23
< 0,074	67,8	8,23	100,00	0,00
Σ	823,6	100,00		

Figura 24- Curva Granulométrica - sub leito



Na figura 24 pode-se visualizar o comportamento da curva granulométrica do solo, dados originados do ensaio, como mostra tabela 10, observando que ambas se localizam dentro dos limites da faixa E, adequado para rodovias com $N < 5 \times 10^6$.

4.2 LIMITES DE CONCISTÊNCIA

- Limites de liquidez

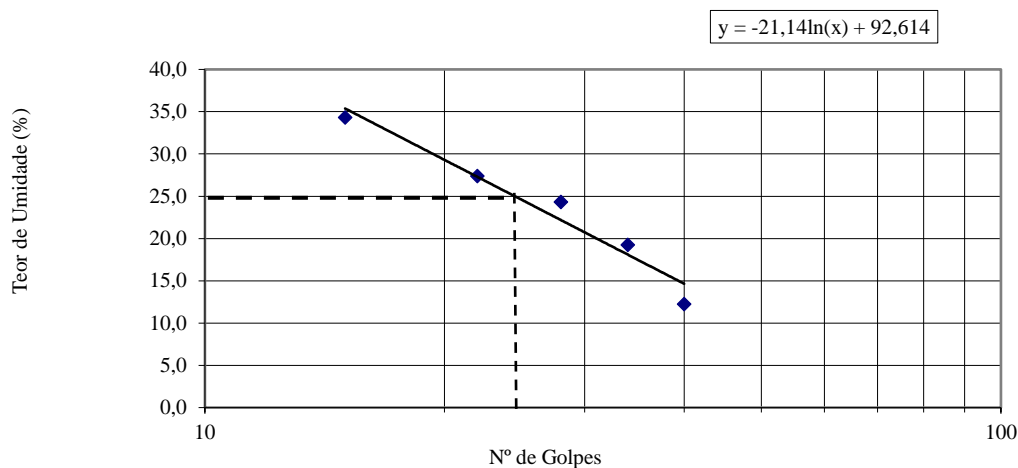
A tabela 11 mostra os resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez do material para base.

Tabela 11 - Limite de liquidez - base

Determinação	#	1	2	3	4	5
Cápsula	#	1	2	3	4	5
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	50,50	49,80	45,80	44,40	43,40
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	46,80	44,60	40,30	38,70	36,50
Massa da Cápsula	(g)	16,60	17,60	17,70	17,90	16,40
Massa da Água	(g)	3,70	5,20	5,50	5,70	6,90
Massa Solo Seco	(g)	30,20	27,00	22,60	20,80	20,10
Teor de Umidade	(%)	12,25	19,26	24,34	27,40	34,33
Número de Golpes	#	40	34	28	22	15

A partir dos resultados da Tabela 11 construiu-se um gráfico no qual se permita determinar o teor de umidade correspondente a 25 golpes. A Figura 25 mostra o gráfico dos resultados obtidos no ensaio:

Figura 25- Gráfico do ensaio de LL- base



De acordo com a NBR 6459/1984 o limite de liquidez do solo é o teor de umidade correspondente a 25 golpes. Pela análise do gráfico acima constata-se que o limite de liquidez do solo ensaiado é 24,60 %.

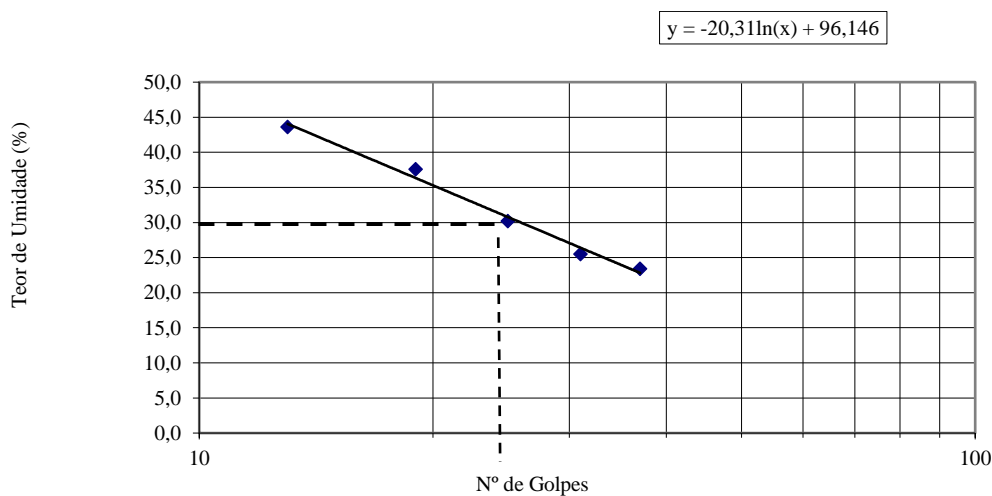
A tabela 12 mostra os resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez do material do subleito.

Tabela 12 – Limite de liquidez – subleito

Determinação	#	1	2	3	4	5
Cápsula	#	1	2	3	4	7
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	48,20	53,00	49,60	49,00	49,00
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	42,20	45,80	42,20	40,50	39,10
Massa da Cápsula		16,60	17,60	17,70	17,90	16,40
Massa da Água	(g)	6,00	7,20	7,40	8,50	9,90
Massa Solo Seco	(g)	25,60	28,20	24,50	22,60	22,70
Teor de Umidade	(%)	23,44	25,53	30,20	37,61	43,61
Número de Golpes	#	37	31	25	19	13

A partir dos resultados da Tabela 12 construiu-se um gráfico no qual se permite determinar o teor de umidade correspondente a 25 golpes. A Figura 26 mostra o gráfico dos resultados obtidos no ensaio:

Figura 26- Gráfico do ensaio de LL- subleito



De acordo com a NBR 6459/1984 o limite de liquidez do solo é o teor de umidade correspondente a 25 golpes. Pela análise do gráfico acima constata-se que o limite de liquidez do solo ensaiado é 30,80 %.

- Limites de plasticidade

O limite de plasticidade do solo para base foi determinado conforme a NBR7180/1984, A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos:

Tabela 13- Limite de plasticidade - base

Determinação	#	1	2	3	4	5
Cápsula	#	1	2	3	4	5
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,90	9,60	9,30	9,80	9,80
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,70	9,40	9,00	9,60	9,50
Massa da Cápsula	(g)	8,70	8,45	7,90	8,50	8,10
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30
Massa Solo Seco	(g)	1,00	0,95	1,10	1,10	1,40
Teor de Umidade	(%)	20,00	21,05	27,27	18,18	21,43

O limite de plasticidade é dado pela média das umidades obtidas, sendo aceitáveis valores que não diferir das umidades individuais em mais ou menos 5 %, logo descartou-se a amostra 3 e 4, tendo uma média de 20,82%.

Para o subsolo o subsolo os resultados se encontram na tabela 14

Tabela 14- Limite de plasticidade - subleito

Determinação	#	1	2	3	4	5
Cápsula	#	1	2	3	4	5
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,50	9,70	9,60	9,40	9,60
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,30	9,50	9,40	9,20	9,40
Massa da Cápsula	(g)	8,10	8,30	7,60	8,00	7,90
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Massa Solo Seco	(g)	1,20	1,20	1,80	1,20	1,50
Teor de Umidade	(%)	16,67	16,67	11,11	16,67	13,33

Para este ensaio também foi descartado as amostras 3 e 5, tendo assim uma média de 16,67%.

- Índice de Plasticidade

Conforme prescrito na NBR 7180/1984, o Índice Plasticidade do solo é obtido substituindo os valores dos limites de liquidez e plasticidade na equação 10, assim o índice plasticidade do solo para base é de 3,78.

CAPUTO, 1988, faz uma classificação do solo a partir do IP do solo. A Tabela 15 apresenta esta classificação:

Tabela 15- Classe do solo pelo IP

Classe de solo		
Classe	Índice de plasticidade (%)	Termo
1	Menor que 1	Não plástico
2	1 a 7	Fracamente plástico
3	7 a 15	Mediamente plástico
4	Maior que 15	Altamente plástico

De acordo com a tabela 15 o solo analisado é classificado, de acordo com sua plasticidade, como fracamente plástico.

O segundo solo avaliado, do subleito tem um IP de 14,13%.

$$LL - LP = IP \rightarrow 30,8 - 16,67 = 14,13.$$

De acordo com a tabela 15 o solo pode ser classificado como mediamente plástico.

4.3 COMPACTAÇÃO

O DNIT (2006) define a compactação como a operação da qual resulta o aumento da massa específica aparente de um solo pela aplicação de pressão, impacto ou vibração, fazendo as partículas entrarem em contato mais íntimo, com diminuição do volume do solo. O método visa determinar a densidade máxima do solo atingida sob dada energia de compactação.

Os ensaios de compactação foram realizados na energia intermediária, onde ela foi determinada pela a granulometria do solo.

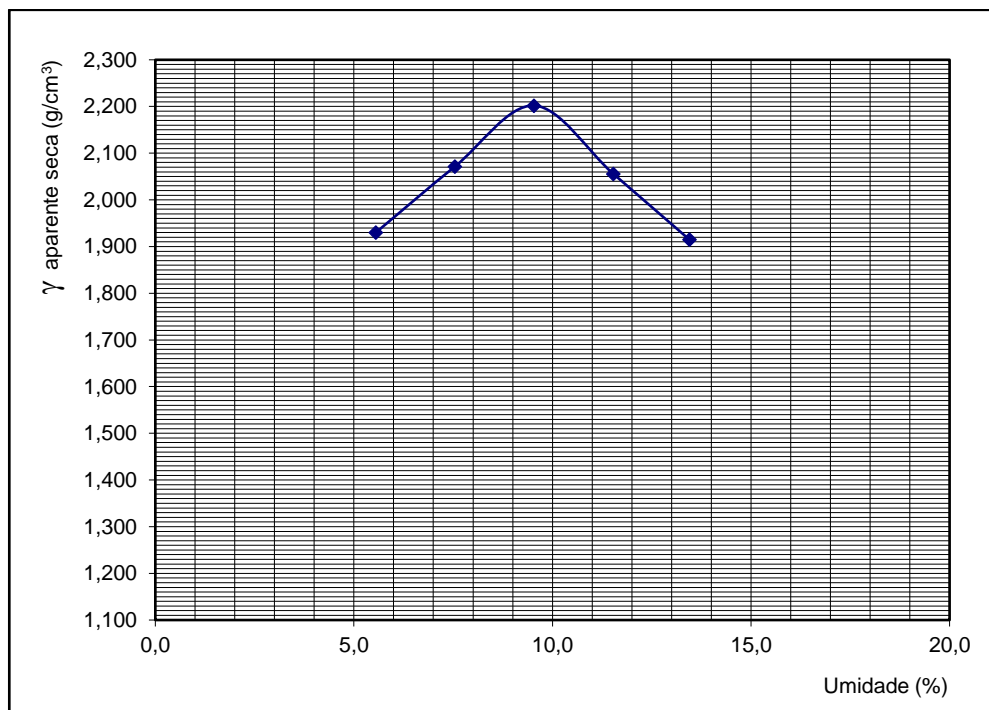
Através do ensaio de compactação, foram obtidas a densidade e a umidade do solo, apontadas na tabela a seguir e traçada a curva de compactação que representa essa densidade e umidade.

Tabela 16- Compactação do material para base

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Umidade Calc.	(%)	5,5	7,5	9,5	11,5	13,5
Nº do Molde	#	21	19	34	25	23
M + S + A	(g)	9750	10150	10350	10100	10000
M - Molde	(g)	5507	5510	5326	5324	5475
S + A	(g)	4243	4640	5024	4776	4525
γ úmida	(g/cm ³)	2,037	2,228	2,412	2,293	2,172
γ seca	(g/cm ³)	1,930	2,071	2,202	2,056	1,915

Para o material de base o ensaio foi inicializado com umidade de 4%, ocorrendo um acréscimo de umidade de 2% até se atingir uma umidade de 12%, estes resultados permitiram plotar as curvas de compactação, assim mostrado na figura 27.

Figura 27- Compactação do material de base



Ao analisar a curva de compactação do solo retirado, pode-se obter os valores de densidade aparente seca máxima do solo e umidade ótima, que corresponde ao ponto de máxima inflexão na curva, o ponto de inflexão desta mudança de comportamento representa a zona onde se pode determinar o peso específico aparente seco máximo do solo ensaiado e, conseqüentemente, a umidade ótima de compactação, sendo respectivamente 2,205 g/cm³ e 9,5%.

Para o material do subleito os ensaios de compactação foram realizados na energia normal.

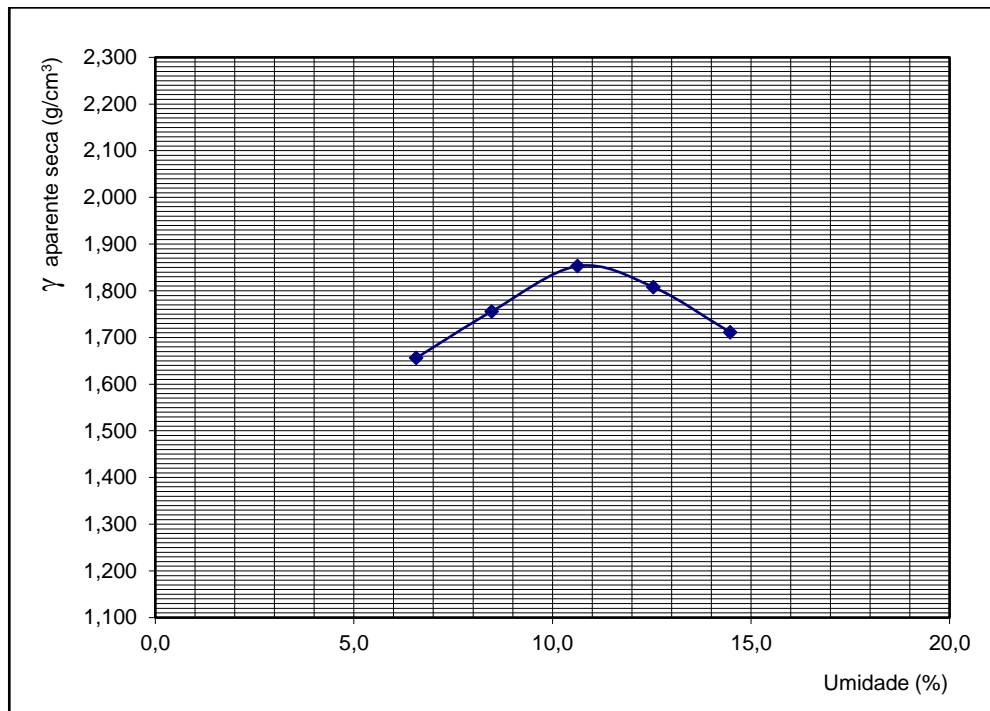
Também através do ensaio de compactação, foram obtidas a densidade e a umidade deste solo, apontadas no quadro a seguir.

Tabela 17- Compactação do material para subleito

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						
Água Adic.	(g)	100	200	300	400	500
% Água Adic.	(%)	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Umidade Calc.	(%)	6,6	8,5	10,6	12,5	14,5
Nº do Molde	#	25	7	23	33	24
M + S + A	(g)	9000	9300	9710	9550	9500
M - Molde	(g)	5324	5333	5440	5312	5420
S + A	(g)	3676	3967	4270	4238	4080
γ úmida	(g/cm ³)	1,765	1,904	2,050	2,035	1,959
γ seca	(g/cm ³)	1,656	1,756	1,853	1,808	1,711

Para o material de subleito o ensaio foi inicializado com umidade de 2%, ocorrendo um acréscimo de umidade de 2% até se atingir uma umidade de 10 %, estes resultados permitiram plotar as curvas de compactação, assim mostrado na figura 28.

Figura 28- Compactação do material de subleito



O peso específico aparente seco máximo do solo ensaiado e, a umidade ótima de compactação, sendo respectivamente 1,853 g/cm³ e 10,6%.

4.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

Após determinadas as densidades máximas e umidades ótimas, foram feitos ensaios para determinar o índice de suporte Califórnia (CBR) de cada mistura, e também do solo, com o objetivo de verificar qual a que apresenta o melhor resultado, ou seja, a melhor resistência.

O cálculo do valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearig Ration* (CBR) foi determinado dividindo-se a pressão calculada pela penetração do pistão no solo dividida pela pressão padrão, para os valores de 0,1 e 0,2 polegadas, adotando-se como o valor do CBR o maior valor entre eles, de acordo com a DNER-ME 049/94 – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.

Sendo assim, foram escolhidos 3 corpos-de-prova para imersão no período de 96 horas estando um no ramo seco um na ótima e um saturado, compactados na energia intermediária e na umidade ótima determinada no ensaio de compactação, para determinação do valor do CBR do solo natural.

Para o solo da base uma média foi determinada a partir dos valores encontrados por corpo-de-prova, resultando em um CBR de 81,05% para o solo coletado como mostra a tabela a seguir.

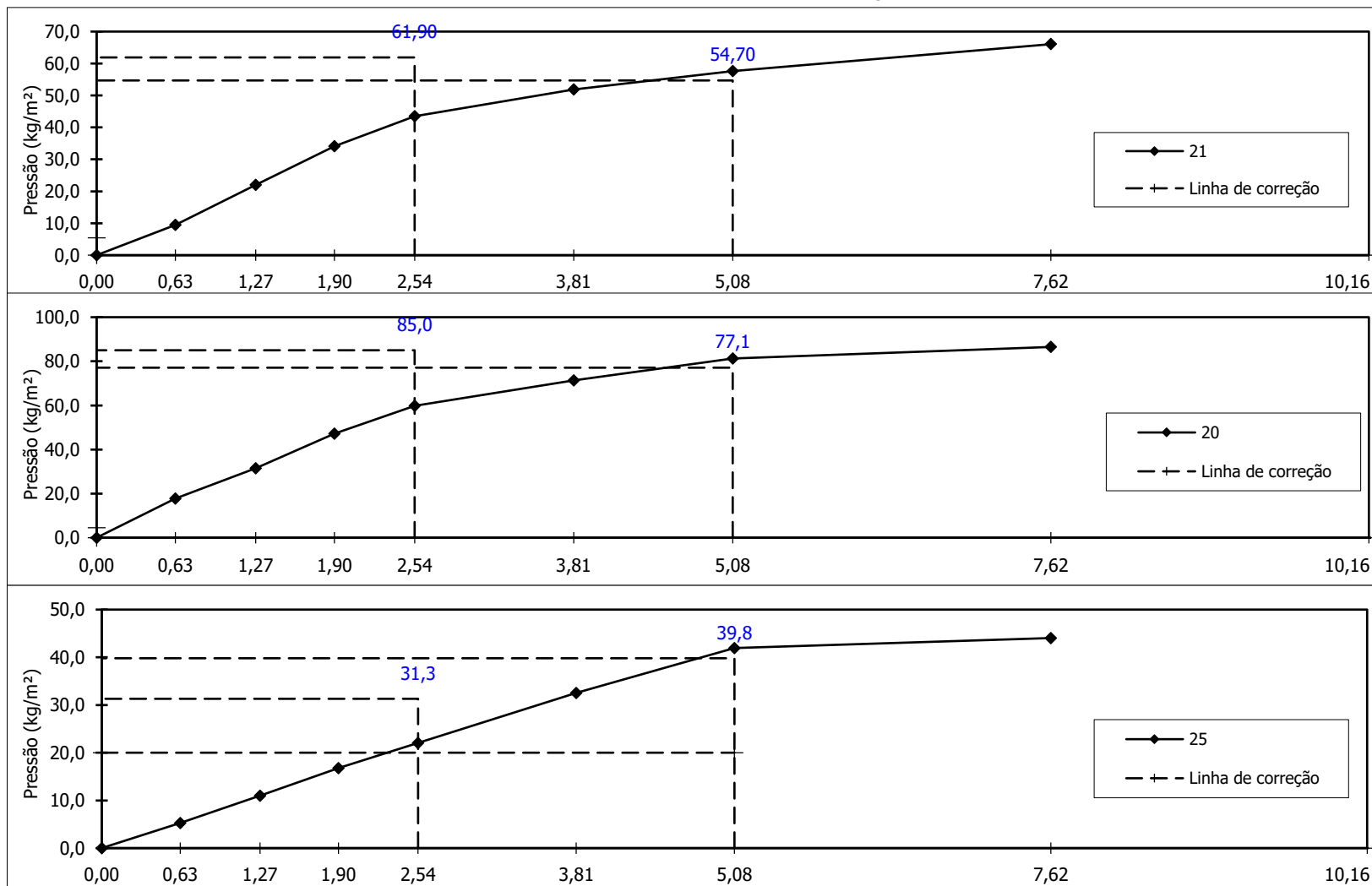
Tabela 18 – CBR - base

Tempo	Penetração	Pol.	Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25			
					Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC		Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC		Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC	
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	
0,0	0,00	0,000	-					0								
0,5	0,63	0,025	-	90	9,44			170	17,8			50	5,2			
1,0	1,27	0,050	-	210	22,02			300	31,5			105	11,0			
1,5	1,90	0,075	-	325	34,08			450	47,2			160	16,8			
2,0	2,54	0,100	70,31	415	43,51	43,5	61,9	570	59,8	59,8	85,0	210	22,0	22,0	31,3	
3,0	3,81	0,150	-	495	51,90			680	71,3			310	32,5			
4,0	5,08	0,200	105,46	550	57,67	57,7	54,7	775	81,3	81,3	77,1	400	41,9	41,9	39,8	
6,0	7,62	0,300	-	630	66,06			825	86,5			420	44,0			
8,0	10,16	0,400	-													
10,0	12,70	0,500	-													

Após serem realizados os ensaios para a determinação do índice de suporte Califórnia, com os resultados obtidos foram traçadas as curvas pressão x penetração. Essas não precisaram ser corrigidas segundo a norma, pois não apresentaram, na parte inicial, uma concavidade voltada para cima. O gráfico com as curvas é apresentado na figura 29, a seguir.

Figura 29- Curvas do I.S.C- base

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



Para o subleito a média determinada a partir dos valores encontrados por corpo-de-prova , resultou-se em um CBR de 38,05% para o solo coletado.

Tabela 19- CBR -subleito

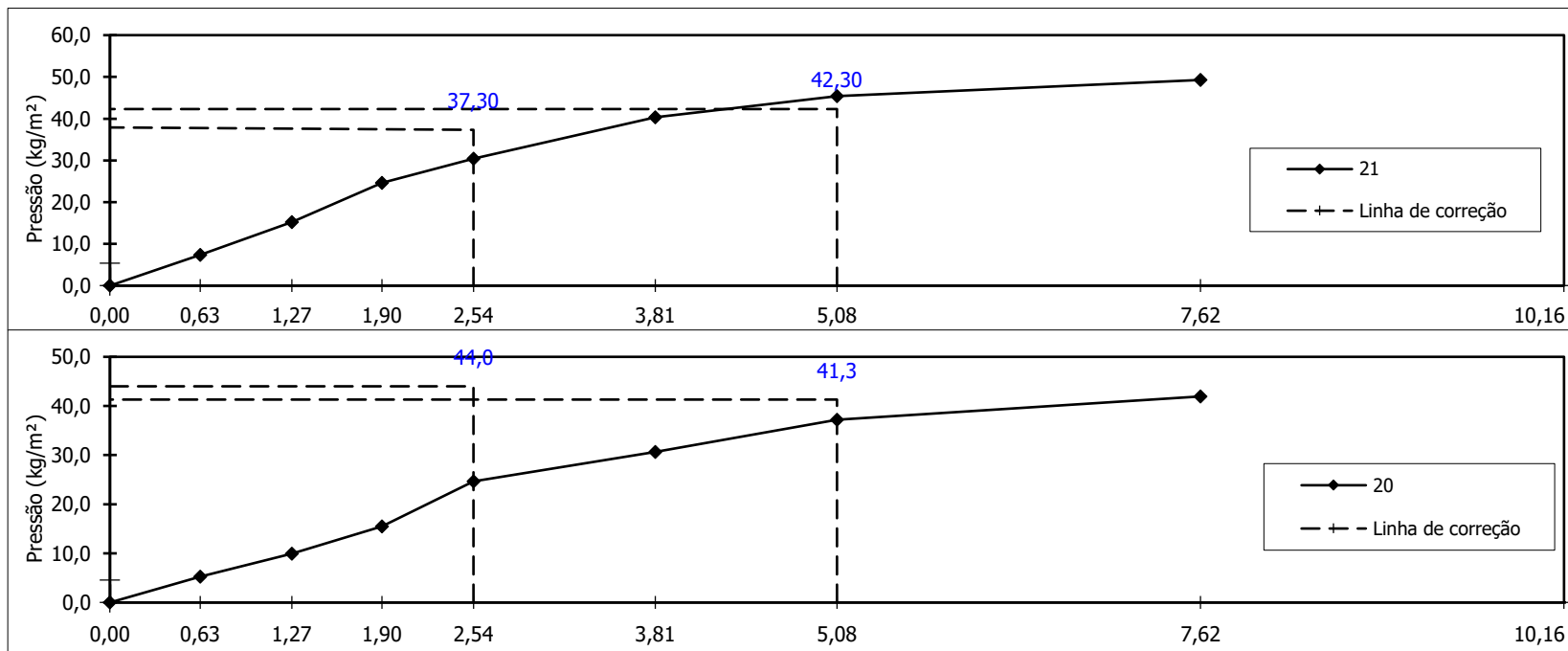
PENETRAÇÃO

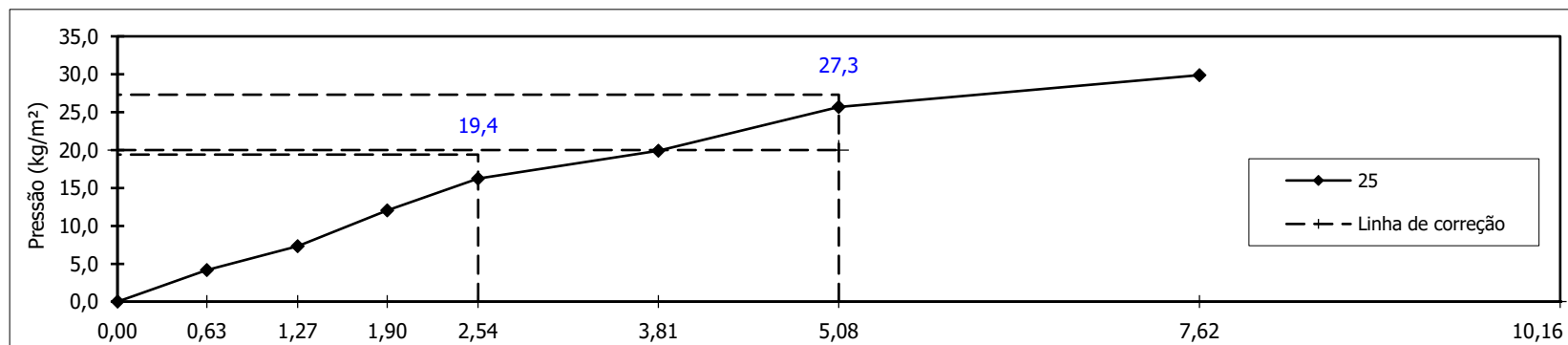
Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,0	0,00	0,000	-					0							
0,5	0,63	0,025	-	40	4,19			60	6,3			40	4,2		
1,0	1,27	0,050	-	85	8,91			120	12,6			70	7,3		
1,5	1,90	0,075	-	145	15,20			180	18,9			110	11,5		
2,0	2,54	0,100	70,31	190	19,92	19,9	28,3	240	25,2	25,2	35,8	140	14,7	14,7	20,9
3,0	3,81	0,150	-	260	27,26			340	35,6			180	18,9		
4,0	5,08	0,200	105,46	330	34,60	34,6	32,8	405	42,5	42,5	40,3	220	23,1	23,1	21,9
6,0	7,62	0,300	-	360	37,75			450	47,2			250	26,2		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

Após serem realizados os ensaios para a determinação do índice de suporte Califórnia, com os resultados obtidos foram traçadas as curvas pressão x penetração. Essas não precisaram ser corrigidas segundo a norma, pois não apresentaram, na parte inicial, uma concavidade voltada para cima. O gráfico com as curvas é apresentado na figura 30, a seguir.

Figura 30- Curvas do I.S.C- subleito

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C





4.5 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N

Para este projeto foi realizado uma contagem manual classificatória de sete dias seguidos, durante 16 horas por dia, no seguimento do trecho de estudo, com nível de precisão C, onde é interpretado como suficiente com estimativa grotesca, método 4, conforme tabela 20.

Tabela 20- Métodos manuais de contagem de veículos

I – Usando Contadores Manuais			
Método	Nível de Precisão	Variações aceitáveis	Observações
(1) - Contagem durante 1 hora, em um dia de semana, entre 9 a.m. e 6 p.m.	D	A contagem pode ser estendida	
(2) - Contagem em um dia de semana, de 6 a.m. até 10 p.m.	C ou D		
(3) - Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. de 5ª Feira até Domingo	C	Pode ser estendida para dias incluindo 2ª Feira	Para a semana use $5 \times 5^a + \text{Sábado} + \text{Domingo}$
(4) - Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. em 7 dias consecutivos	C		
(5) - Métodos (1) a (4) em 4 vezes (6) - em intervalos de 3 meses (7) - (usando para (1) e (2) diferentes horas (8) - e dias)	C C B B	O número de vezes pode ser 2,3 ou 6 em vez de 4, alterando de forma semelhante o espaçamento	Calcule os totais de cada semana e então a média das 4 semanas
(9) - Contagem das 6 am às 10 pm de 52 em 52 dias durante 1 ano (7 contagens)	B		Estes métodos são de grande utilidade quando se tem que contar em vários pontos de uma mesma área. Podem ser feitas variações para atender a condições especiais
(10) - Contagem das 6 am às 10 pm de 26 em 26 dias durante 1 ano (14 contagens)	A ou B		
(11) - Contagem das 6 am às 10 pm de 13 em 13 dias durante 1 ano (28 contagens)	A		
(12) - Como em (9), mas divida o trecho do dia de interesse em 7 partes iguais (p. ex 2 horas. Em cada uma das 7 contagens conte uma parte, na ordem 1,4,7,3,6,2,5	C	Pode variar a parte em que inicia a contagem, mantendo a ordem, como 4,7,3,6,6,5,1, ou 3,6,2,5,1,4,7	
(13) - Como em (10) mas divida o trecho do dia de interesse em 14 partes iguais (por ex. 14 partes de 1 hora) e conte sucessivamente as partes 1,4,7,10,13,2,5,8,11,14,3,6,9,12	C		
(14) - Como em (11) divida o trecho do dia de interesse em 14 partes iguais e conte sucessivamente as partes 1,6,11,2,7,12,3,8,13,4,9,14, e então repita este ciclo	B		

Fonte: DNIT, 2006a, p. 120.

Os dias que foram realizados as contagens foram de 10/01/2018 à 16/01/2018 nos dois sentidos da via. Foram seguidas instruções básicas estabelecidas na Metodologia de Contagem Volumétrica de Tráfego – DNIT.

Através da contagem, foi possível conhecer a composição do tráfego. A projeção de tráfego futuro até a final da vida útil da rodovia e o valor de número “N”, foram calculadas segundo a metodologia de USACE e AASTHO.

A tabela a seguir mostra o número de passagens de cada tipo de veículos.

Tabela 21- Contagem de veículos

DATA	DIA DA SEMANA	Motocicleta	Passeio/Utilitário	Leve/microônibus (2c)	Médio / Ônibus >8,70 e <12 (2c)	Pesado >=12 e <24 (3s2)	Especial >24 (3c2)	pedestre/bicicleta	TOTAL
10/01/2018	quarta-feira	44	21	5	8	4	0	18	100
11/01/2018	quinta-feira	37	28	4	7	5	0	10	91
12/01/2018	sexta-feira	42	39	3	7	3	0	15	109
13/01/2018	sábado	35	33	2	4	0	1	9	84
14/01/2018	domingo	29	25	2	0	1	0	11	68
15/01/2018	segunda-feira	45	20	4	8	3	2	14	96
16/01/2018	terça-feira	28	23	4	10	2	0	18	85
Média		37,1428571	27	3,42857143	6,28571429	2,571429	0,428571	13,57143	

Foram considerados apenas os valores da média dos veículos de grande porte. Os F. Vi para automóveis e caminhões leves são calculados porem são desprezíveis, interessando especialmente, os F. Vi para caminhões médios, pesados e reboques e semirreboques.

O volume médio diário de passagem (VMD1) = 12,69 passagens

Para determinação do número “N” foi considerado a vida útil de projeto de 15 anos e taxa de crescimento de 3%. Sendo assim poderemos determinar o volume médio diário ao longo da vida útil:

$$\text{VMD} = \text{VMD1} \times [2 + (P - 1) \times t/100] / 2 ;$$

$$\text{VMD} = 12,69 \times [2 + (15-1) \times 3/100] / 2$$

$$\text{VMD} = 15,35 \text{ passagens.}$$

Onde:

VMD1 = passagens diárias

P = período de projeto (anos)

t = taxa de crescimento (%)

Para o cálculo de fatores de equivalência de carga (USCE), foi realizado pela tabela seguinte:

Tabela 22- Cálculo para determinar o fator de equivalência de carga

Veículos (eixos)	Eixos		Fci	Fi	fi	Fci * fi
	Simplex	Duplo				
A (Dianteiro)	2		0,0034	3,43	0,1191	0,0004
A(Traseiro)	4		0,0545	3,43	0,1191	0,0065
B (Dianteiro)	6		0,2779	6,28	0,2180	0,0606
B (Traseiro)		17	8,5488	6,28	0,2180	1,8635
C (Dianteiro)	6		0,2779	2,57	0,0892	0,0248
C (Médio)		15	4,3034	2,57	0,0892	0,3839
C (Traseiro)		17	8,5488	2,57	0,0892	0,7626
D1 (Dianteiro)	6		0,2779	0,42	0,0146	0,0041
D2 (Médio)		10	0,4720	0,42	0,0146	0,0069
D3 (Médio)	10		3,2895	0,42	0,0146	0,0480
D4 (Traseiro)	15		41,5370	0,42	0,0146	0,6055
			Somatório	28,81	FC	3,7666

Portanto, o valor do número de operações de um eixo padrão de 8,2t utilizado nos diversos dimensionamentos constantes neste estudo foi o seguinte:

Onde:

FC_i = Equação da Fórmula (FC)

F_i = Quantidade de vez que o eixo passou na via

f_i = F_i do Eixo / F_i Total

FC = Somatória do $FC_i \cdot f_i$ de todos os eixos

Para determinar o valor de FC_i foi utilizado as seguintes fórmulas:

Tabela 23- Tipos de eixo

Tipos de Eixo	Faixas de carga (tf)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \cdot 10^{-4} \cdot P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \cdot 10^{-6} \cdot P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \cdot 10^{-4} \cdot P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,528 \cdot 10^{-6} \cdot P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \cdot 10^{-5} \cdot P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

Fonte: DNIT, 2006a

Para o cálculo de fator de eixo foi realizado a seguinte fórmula:

$$FE = (FEa \times \text{Passagens } a) + (FEb \times \text{Passagens } b) / (\text{Passagens } a + \text{Passagens } b)$$

$$FE = ((2 \cdot 3,43) + (2 \cdot 6,28) + (3 \cdot 2,57) + (4 \cdot 0,42)) / (3,43 + 6,28 + 2,57 + 0,42) = FE = 2,27$$

O fator de veículo é determinado pela seguinte expressão:

$$FV = FE \times FC$$

$$FV = 2,27 \times 3,76$$

$$FV = 8,54$$

Com todos esses dados calculados, realizou-se o número “N”, utilizando a seguinte expressão:

$$N = 365 \times \text{VMD} \times P \times \text{FV}$$

$$N = 365 \times 15,35 \times 15 \times 8,54$$

$$N = 7,18 \times 10^5$$

Posteriormente, foram determinados os coeficientes estruturais para os materiais destinados as camadas de revestimento, base e sub-base. As camadas de base e sub-base foram dimensionadas como sendo camadas granulares. Os coeficientes estruturais obtidos foram baseados na tabela abaixo.

Tabela 24- Coeficiente de equivalência estrutural "k"

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

Fonte: DNIT, 2006a, p. 146.

Portanto, os coeficientes estruturais adotados nos dimensionamentos, pelo Método do DNER, foram os seguintes:

Base Granular → $KB = 1,00$

Sub-base Granular → $KSB = 1,00$

Posteriormente, foram calculadas as espessuras das demais camadas que constituem o pavimento, foi considerado para o dimensionamento o CBR de subleito encontrado no trecho de Gurupi ao aterro sanitário, devido ser a pior situação.

Os dados referentes ao trecho em estudo foram os seguintes:

Base → CBR = 81,05%

Sub-base → CBR = 20%

Subleito → CBR = 38,05%

Espessura do Revestimento (R) - Betuminoso.

$R = 0,00$ cm

Espessura da Camada de Base (B).

$$Ht = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598}$$

$$H20 = 77,67 * (7,18 \times 10^5)^{0,0482} * 20^{-0,598}$$

$$H20 = 24,80 \text{ cm}$$

$$R * Kr + B * Kb > H20$$

$$0 * 1,4 + B * 1 > 24,80$$

$$B = 24,80$$

$$B = 25 \text{ cm}$$

Espessura da Camada de Sub Base (Sb).

$$Ht = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598}$$

$$H20 = 77,67 * (7,18 \times 10^5)^{0,0482} * 38,05^{-0,598}$$

$$H20 = 16,88 \text{ cm}$$

$$H20 = 17 \text{ cm}$$

$$R * Kr + B * Kb + Hm * ks > H20$$

$$0 * 1,4 + 25 * 1 + Hm * 1 > 24,80$$

$$Hm = -0,2$$

ADOTADO = 15 cm

Segundo o Método do DNER, a espessura mínima a ser adotada para camadas granulares deve ser de 15 cm, portanto todas as espessuras foram as de cálculos.

ESPESSURA TOTAL = 25 cm

5 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho possibilitou a determinação do dimensionamento do pavimento a ser construído na rodovia TO-365.

A rodovia TO-365 que liga o município de Gurupi ao município de Ipueiras no Estado do Tocantins apresenta trechos em estado precário, prejudicando assim o transporte de grãos, como a soja cultivada na região, prejudicando então o agronegócio.

O trecho da rodovia TO-365 estudado possui 3,5 km de extensão, sua composição estrutural foi determinada pelos ensaios, os quais determinaram CBR dentro dos padrões exigidos pelas normas.

Determinou-se medidas para as camadas de sub-base e base, com 15 cm e 25 cm, respectivamente, o qual recebeu o tratamento superficial duplo.

Para o projeto executivo, a via será composta por pista simples, com apenas 2 faixas, uma em cada direção, em cada faixa de rolamento possui 3,50 m de largura e acostamento de 1,40 m.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros sugere-se que sejam realizados estudos de viabilidade econômica com os tipos de revestimentos indicados para pavimentos rodoviários.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise Granulométrica. 02.453 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: Abnt, 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo - Índice de Suporte Califórnia. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1987. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solos - Ensaio de Compactação. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207**: TERMINOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO. 1 ed. Rio de Janeiro: Nbr, 1982. 3 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro. [s.n.], 2010.

BIANCHI, Flavia Regina; BRITO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Veronica Amanda Brombley. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO E FLEXÍVEL**. 2008. 16 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, Centro Leste, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de estudos de tráfego– Rio de Janeiro, 2006b.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: Caracterização. Rio de Janeiro, 1988.

CATARINA, Universidade do Estado de Santa. **ROTEIRO - LIMITES DE LIQUIDEZ E DE PLASTICIDADE**. Florianópolis: Udesc, 2012. 2 p.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomsom Learning, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ES 303/97: Pavimentação- base estabilizada granulometricamente. 1 ed. Rio de Janeiro: Dner, 1997. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNER-ES 299/97**: Pavimentação - regularização do subleito. 1 ed. Rio de Janeiro: Dner, 1997. 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT: MANUAL DE ESTUDOS DE TRAFEGO**. Rio de Janeiro: Dnit, 2006. 388 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 122/94**: Solos - determinação do limite de liquidez. 1 ed. Rio de Janeiro, 1994. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNER-ME 051/94**: Solos- Análise Granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro: Dner, 1994. 12 p

DNIT 049/2014 – ME -Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas

MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. **MANUAL DO DNIT: PUBLICAÇÃO IPR-719**. Rio de Janeiro, 2006

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES - DNIT. **NORMA DNIT 2014**: Solos – Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Diretoria Geral, 2014. 17 p.

NORMA DNIT. **DNIT 164/2013**: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. 1 ed. Rio de Janeiro: Dnit, 2013. 7 p.

NUNES, Tercia V. L (2003). Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso de redes neurais artificiais: Trecho de Aquiraz – CE. 2003. 118fls. Dissertação de mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003. Disponível em: Acessado dia 07/11/2013

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 2.ed São Paulo, 2002

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação, volume I - 1a.ed. - São Paulo: Pini, 1997.

TRANSPORTE, Confederação Nacional do. **CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE**. 1954. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/>>. Acesso em: 13 out. 2017.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **ROTEIRO - GRANULOMETRIA**: ROTEIRO - GRANULOMETRIA. 1 ed. Florianópolis: Udesc, 2012. 3 p.