



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

Eva Thamara Ribeiro de Carvalho

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO PARA FINS DE UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTO URBANO, NA CIDADE DE PORTO NACIONAL-TO

Palmas-TO

2017

Eva Thamara Ribeiro de Carvalho

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO PARA FINS DE UTILIZAÇÃO
EM PAVIMENTO URBANO, NA CIDADE DE PORTO NACIONAL-TO**

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: Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos

Palmas-TO

2017

Eva Thamara Ribeiro de Carvalho

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO PARA FINS DE UTILIZAÇÃO
EM PAVIMENTO URBANO, NA CIDADE DE PORTO NACIONAL-TO**

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).

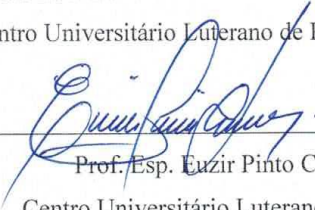
Orientador: Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos

Aprovado em: 19 / 05 / 2017

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Esp. Euzir Pinto Chargas
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Elizabeth Hernández Zubeldia
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO

2017

DEDICATÓRIA

A realização de um sonho, às vezes chamado de projeto, vem acompanhada de obstáculos, sacrifícios, ajustes e recomeços. Em meio às incertezas há sempre pessoas queridas que indiscutivelmente contribuíram de forma decisiva, incentivando e viabilizando essa conquista. Dedico este trabalho aos meus pais Adilton e Rosineide, fundamentais na minha formação educacional e humana.

AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso primeiramente agradeço à todos de coração.

Agradeço:

A Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele?!

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Em especial a minha Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

Ao meu esposo, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você tenho me sentido mais viva de verdade. Obrigada pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

Os professores são como grandes mestres, com quem aprendemos muito sobre a vida, dentro ou fora da sala de aula. Muito obrigada, ao meu Professor Mestre Edivaldo, por toda a dedicação e paciência!

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida. Em especial a Ana Elisa, Aline Pugas, Erika Renata, Layana Schuch e Taffarel Andrade, vocês são demais!

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

(Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

RESUMO

O presente trabalho discute o desenvolvido com o objetivo de caracterizar o solo e dimensionar o pavimento, de maneira técnica e economicamente viável, para um loteamento urbano e empresarial, localizado em Porto Nacional - TO. O dimensionamento foi realizado pelo Método do DNER, para um trecho de aproximadamente 53.629,23 m² e contou com estudos de caracterização do solo, de subleito e área de empréstimo, realizados através de ensaios laboratoriais como: Compactação, Índice de Suporte Califórnia, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Granulometria por Peneiramento. Com base nos ensaios realizados e de acordo com o número N, foi desenvolvido o dimensionamento do pavimento, resultando em uma estrutura disposta em camadas de 2,5 cm para o Revestimento, 20 cm para Base e 15,0cm para sub-base de subleito do tráfego médio, já para tráfego meio pesado 5,0 cm para Revestimento, 20 cm para Base e 15,00cm para sub-base do subleito. Na continuidade a estimativa de agregado e ligante para todo o trecho de via coletora primária é de 1.115.749,83 kg e para via local 219.618,00 kg.

Palavras-chave: Dimensionamento, caracterização, solo, Método DNER.

CARVALHO, Eva Thamara Ribeiro de. Characterization of the soil for use in urban pavement, in the city of Porto Nacional-To. 2017. 90 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2017.

ABSTRACT

The present work discusses the one developed with the purpose of characterizing the soil and dimensioning the pavement, in a technical and economically feasible way, for an urban and business subdivision, located in Porto Nacional - TO. The sizing was done by the DNER Method, for a stretch of approximately 53,629.23 m² and counted on studies of soil characterization, sublet and loan area, performed through laboratory tests such as: Compression, California Support Index, Liquidity, Plasticity Limit and Granulometry by Screening. Based on the tests carried out and according to the number N, the design of the floor was developed, resulting in a structure arranged in layers of 2.5 cm for the Coating, 20 cm for Base and 15.0 cm for subgrade subgrade Of the average traffic, already for heavy traffic 5.0 cm for Coating, 20 cm for Base and 15.00 cm for sub-base of the subgrade. In the continuity, the estimation of aggregate and binder for the entire section of primary collection route is 1,115,749.83 kg and for local route 219,618.00 kg .

Keywords: Scaling, Description, Ground, DNER method

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Escolha do material da base (método cbr).....	51
Quadro 2 – Faixa granulométrica	52
Quadro 3 – Espessura mínima do revestimento (método cbr).....	52
Quadro 4 – Resultado de ensaio de I_l e I_p do subleito.....	69
Quadro 5 – Resultado de ensaio de I_l e I_p da jazida	70
Quadro 6 – Resultado de ensaio de granulometria subleito	73
Quadro 7 – Resultado de ensaio de granulometria jazida	74
Quadro 8 – Resultado de ensaio de compactação subleito.....	75
Quadro 9 – Resultado de ensaio de compactação jazida	77
Quadro 10 – Resultado de ensaio de isc subleito	78
Quadro 11 – Resultado de ensaio de isc jazida	79
Quadro 12 – Resumo do quantitativo de agregado e ligante.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – as fases do solo.....	20
Figura 2 – Aspecto Da Ranchura.....	26
Figura 3 – Seção Típica De Pavimento	33
Figura 4 – Área De Contato Pneu X Pavimento.....	34
Figura 5 – Sistema De Camadas De Um Pavimento E Tensões Solicitantes.....	34
Figura 6 – Croqui Do Pavimento Flexível (Asfáltico - Corte Transversal)	36
Figura 7 – Croqui Do Pavimento Rígido (Concreto-Cimento -Corte Longitudinal)	37
Figura 8 – Classificação Dos Revestimentos	38
Figura 9 – Seção Transversal Pavimento Flexível	43
Figura 10 – Comdições E Restrições Gerais Para O Dimensionamento Do Pavimento.....	47
Figura 11 – Determinação Das Espessuras Do Pavimento	53
Figura 12 – Dimensionamento Do Pavimento	53
Figura 13 – Loteamento Verdes	56
Figura 14 – Imagem Da Jazida.....	57
Figura 15 – Dimensão Das Partículas.	60
Figura 16 – Identificação Das Vias	66
Figura 17 – Dimensionamento Do Pavimento	67
Figura 18 – Caixa Dosadora Para Tratamento Superficial (Larsen, 1985)	68
Figura 19 – Camada Do Pavimento Das Vias De Trafego Médio. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
Figura 20 – Camada Do Pavimento Das Vias De Trafego Meio Pesado..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
Figura 21 – Caixa Dosadora Para Tratamento Superficial	83
Figura 22 – Pesagem Do Agregado Graúdo (Brita 1)	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	19
Tabela 2 – Quantidade de amostra para análise granulométrica.	21
Tabela 3 – Quantidade de amostra para determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, com secagem prévia.....	22
Tabela 4 – Massa mínima por amostra de ensaio.....	23
Tabela 5 – Espessuras mínimas de revestimento asfálticos	47
Tabela 6 – Coeficiente de equivalência estrutural (k)	54
Tabela 7 – Classificação dos solos	62
Tabela 8 – Energia de compactação e características dos moldes e soquetes	63
Tabela 9 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR	Califórnia Bearing Ratio
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e de Transporte
DNER	Departamento Nacional Estrada e Rodagem
ISC	Índice de Suporte Califónia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2 HIPÓTESES	15
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 DEFINIÇÃO DO SOLO	17
2.2 SOLOS ARENOSOS	17
2.3 SOLOS ARGILOSOS	18
2.4 SOLOS SILTOSOS	18
2.5 DENOMINAÇÃO DO SOLO.....	19
2.6 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.....	20
2.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	20
2.7.1 <i>Preparação com secagem prévia</i>	20
2.7.2 <i>Amostra para análise Granulométrica</i>	21
2.7.3 <i>Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade</i>	21
2.7.4 <i>Amostra para determinação da massa específica dos grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm</i>	21
2.7.5 <i>Amostra para determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água dos grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8mm</i>	22
2.7.6 <i>Preparação sem secagem prévia</i>	22
2.7.7 <i>Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade</i>	22
2.7.8 <i>Amostra para determinação da massa específica dos grãos</i>	23
2.8 PROCEDIMENTO SEGUNDO A NORMA - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA NBR 248:2003	23
2.9 PROCEDIMENTO SEGUNDA A NORMA - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ NBR 6459:2016	25

2.10 PROCEDIMENTO SEGUNDA A NORMA - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE NBR 7180:2016	27
2.11 PROCEDIMENTO SEGUNDO A NORMA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECIFICA NBR 6508:2016	28
2.12 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR).....	29
2.12.1 Procedimento segundo a norma Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNIT/2014.....	29
2.13 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	30
2.13.1 Procedimento segundo a norma Solo - Ensaio de Compactação NBR 7182:2016.....	30
2.14 CONCEITO DE PAVIMENTO	33
2.15 CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO	35
2.15.1 Pavimento Flexível.....	35
2.15.2 Pavimento Semirrígido.....	36
2.15.3 Pavimentos Rígidos	37
2.16 REVESTIMENTOS	37
2.16.1 Revestimento Rígido.....	38
2.16.2 Revestimento Flexível.....	39
2.16.3 Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ	40
2.16.4 Pré-Misturado a quente	41
2.16.5 Pré-Misturado a frio.....	41
2.16.6 Tratamentos Superficiais.....	41
2.16.7 Outros Revestimentos	42
2.18 CAMADAS CONSTITUINTES	42
2.18.1 Subleito.....	43
2.18.2 Regularização do Subleito.....	43
2.18.3 Reforço de Subleito.....	44
2.18.4 Base	44
2.18.5 Sub-base	45
2.19 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO.....	45
2.20 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	46
2.21 ESTUDO DE TRÁFEGO.....	47
2.22 ESTUDOS DE OCORRÊNCIA DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO	48
2.23 DETERMINAÇÃO DO CBR DE PROJETO.....	49
2.24 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	49

2.25 MÉTODO DO DNER	50
3 METODOLOGIA.....	55
3.1 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	55
3.2 LOCALIZAÇÃO.....	56
3.3 LEVANTAMENTOS	58
3.3.1 Estudos do subleito e de ocorrência de materiais para pavimentação.....	58
3.3.2 Dimensionamento do Pavimento Flexível.....	63
3.4 QUANTITATIVO DE AGREGADO E LIGANTE	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1 ENSAIOS LABORATORIAIS	69
4.1.1 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).....	69
4.1.2 Ensaio de Granulometria por Peneiramento	71
4.1.3 Ensaio de Compactação.....	75
4.1.4 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC (CBR).....	77
4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	80
4.3 QUANTITATIVO DE AGREGADO E LIGANTE	83
5 CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução dos meios de transportes terrestres, com o homem dirigindo seu próprio veículo, o transporte rodoviário passou a ser cada vez mais solicitado. Assim, a construção de um pavimento demanda considerável entendimento técnico e, por conseguinte, análise minuciosa dos materiais utilizados. Com isso se faz necessário a caracterização do solo para fins de utilização em pavimento rodoviário.

Dentre os materiais, destaca-se o solo, que intervém em todos os estudos de pavimento, não estando empregado nas camadas previsíveis, razão pela qual torna-se sempre um suporte da estrutura. Sendo assim, é fundamental que se faça alguns ensaios laboratoriais para que se caracterize o solo para sua finalidade.

Menciona-se, por oportuno, que a caracterização do solo, ocorre mediante alguns ensaios sendo eles, ensaios de caracterização (amostra para análise granulométrica, amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade, amostra para determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm, amostra para determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água dos grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8mm, amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade. amostra para determinação da massa específica dos grãos), índice de suporte califórnia (cbr) e de compactação.

Urge dizer, ainda que o pavimento vai além do revestimento, haja vista que se compõe por camadas sobrepostas de materiais distintos, que propicia atender a função estrutural e operacional de forma durável, utilizando o dimensionamento para pavimento flexível, através do Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) desenvolvido pelo engenheiro Murilo de Souza Lopes.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Sabe-se, que de um modo geral, as estradas apresentam inúmeras patologias rodoviárias, dentre elas: assentamento do solo de fundação, deformações localizadas e afundamento dos trilhos. Esses problemas são ocasionadas diretamente pelo solo.

Tendo em vista que o solo se constitui de material natural, isto é, com processo de formação independente da intervenção humana, é imprescindível o entendimento de todo seu comportamento, motivo pelo qual se pretende descobrir se este material atende todas as características para execução de uma rodovia.

1.2 HIPÓTESES

Se o solo atender a todas suas características necessárias para execução de uma rodovia, pode-se iniciar a elaboração do projeto para efetivação do pavimento, de forma que a rodovia seja executada para proporcionar conforto, estabilidade e segurança para quem for trafegar, aplicando-se rigorosamente os requisitos mínimos recomendados pelas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura e de Transporte (DNIT).

Por outro lado, se o solo não atende suas necessidades fundamentais, deve ser descartado para elaboração de pavimento e, por conseguinte, proceder à análise de nova destinação, respeitando sua natureza.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Caracterização do solo para fins de utilização pavimento urbano

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar Jazida;
- Recolher amostra de solo;
- Ensaio de caracterização; 111
- CBR e compactação;
- Modelo de cálculo e análise e discussão dos resultados do solo para fins de pavimento urbano.

1.4 JUSTIFICATIVA

Sob a ótica da engenharia, a classificação de um solo requer uma posição relevante no entendimento da sua atuação frente às demandas que este poderá experimentar em obras.

Nesse sentido, surgiram várias categorias que averiguam o solo dentro de um ambiente de interesse singular, com o intuito de evitar futuras patologias.

Malgrado as deficiências dos atuais sistemas de classificação, estes colaboram no entendimento do princípio do comportamento dos solos, bem como na instrução de preparação para referência de determinado projeto.

Assim, em virtude da relevância que o tema assume, analisa-se no vertente estudo, detalhadamente, uma amostra de solo em Porto Nacional a compreensão das suas características significativas para a construção de uma rodovia, para que não haja imprevistos no projeto de pavimento e perturbação para a população beneficiária da rodovia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÃO DO SOLO

De acordo com Senço (1997), "o solo é o mais antigo, mais usado, mais complexo e mais desconhecido dos materiais de construção". Não é um trabalho fácil definir o solo, uma vez que cada uma das atividades humanas ou científicas que precisam do seu estudo, avaliam de um ponto de vista próprio, diversificando o conceito de uma para outra.

Nesse sentido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (NBR 6502:1995) define solo como sendo todo "material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica", ou simplesmente produto da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos.

Segundo VARGAS (1978)

Para a finalidade específica da engenharia civil, o termo solo pode-ser definido, considerando-o como todo material da crosta terrestre que não oferecesse resistência intransponível à escavação mecânica e que perdesse totalmente toda resistência, quando em contato prolongado com a água. Este termo é aplicado a materiais da crosta terrestre que servem de suporte, são arrimados, escavados ou perfurados e utilizados nas obras de engenharia civil. Tais materiais, por sua vez, reagem sob as fundações e atuam sobre os arrimos e coberturas, deformam-se e resistem a esforços nos aterros e taludes, influenciando as obras segundo suas propriedades e comportamento.

Com propósito prático de construção e execução de um pavimento, é necessário discernir o comportamento que espera-se de um solo quando este receber esforços. Portanto, é necessário conhecer alguns grandes grupos que cobrem a terra, sendo eles solos arenosos, solos siltosos e solos argilosos.

2.2 SOLOS ARENOSOS

Cumprir explicar que os solos arenosos são aqueles em que a areia prevalece, incluindo grãos grossos, médios e finos, estes são visíveis a olho nu. Os grãos de areia naturalmente se separam um dos outros, ou seja, não têm coesão. As areias da praia, por exemplo, quando secam, separam os grãos com muita facilidade, quando sujeita a umidade obtém coesão passageira, de tal maneira que se pode criar os famosos "castelos" que desmoronam por qualquer esforço.

Porém, tem como característica a permeabilidade, onde a água circula sem nenhum esforço, mas seca muito rápido se não for repostada, como acontece nas areias da praia. Imagina que ao fazer uma construção sobre um solo arenoso e a presença de lençol freático nas proximidades.

Se abirmos uma vala ao lado da obra, a água do terreno vai preencher a vala e drenar o terreno. Este perderá água e vai se adensar, podendo provocar trincas na construção devido ao recalque provocado, conforme Campos (2016).

Destaca-se, por oportuno, que as estradas construídas sobre solos arenosos não atolam em tempo de chuva e nem gera poeira em tempo de seca. Devido os grãos serem pesados, não levantam diante da passagem de veículos, assim como não se aglutinam, como ocorre em solos argilosos.

Em analogia, quando empregado em estradas sem pavimento, tornam-se as pistas barrentas em época de chuva e resulta o piso duro em tempo de seca. Logo, estradas sobre solos siltosos ocasionam pó com a passagem de veículos, tudo isso devido o tamanho dos grãos e de como eles reagem à presença da água.

2.3 SOLOS ARGILOSOS

Por outro lado, o solo argiloso constitui-se de grãos microscópios, de cores fibrantes e com grande permeabilidade, em decorrência da dimensão dos grãos, as argilas: São fáceis de serem moldadas com água; Têm dificuldade de desagregação. Formam barro plástico e viscoso quando úmido. Permitem taludes com ângulos praticamente na vertical. É possível achar terrenos argilosos cortados assim onde as marcas das máquinas que fizeram o talude duraram dezenas de anos, Campos (2016).

Os solos argilosos diferenciam-se pela presença de impermeabilidade, que é tão notável que se torna o mais usual na construção de barragens de terra, sem esquecer que estão bem compactadas. Quando não se tem argila, é necessário buscar em locais onde predomina este solo, denominando-se "área de empréstimo".

2.4 SOLOS SILTOSOS

Já o Silte se encontra entre a areia e a argila. É um pó que se pode comparar com a argila, mas não tem coesão significativa, também não se nota plasticidade. Estradas que são executadas sobre solo siltoso geram barro no tempo de chuva e bastante pó na seca. Não se vislumbra estabilidade alongada em cortes realizados em terreno siltoso, tornando-se fácil a presença de erosão e a desagregação, o que acarreta mais manutenção.

2.5 DENOMINAÇÃO DO SOLO

Em vários aspectos, a atuação do solo só pode ser compreendida pela relevância das forças emitidas na junção entre as partículas, mesmo que estas forças não sejam empregadas em cálculos e modelos. Não é incomum que as partículas sofram desagregação quando o solo é requisitado modificando o solo, é evidente que haja intervenção no seu funcionamento.

De acordo com CARVALHO *et.al.*(1998), encontram-se diversas dimensões de partículas no solo. Assim, não é tarefa simples distingui-las, em razão de que os grãos de areia, é capaz de envolver por um extensa porção de partículas argilosas, superfina, tornando com a mesma aparência destas partículas argilosas. Sempre que seca, as duas junções tornam-se raramente especificadas. No momento que estão úmidas, este agrupamento de partículas argilosas se tornam uma pasta fina, sempre que a partícula arenosa coberta é espontaneamente identificada pelo tato.

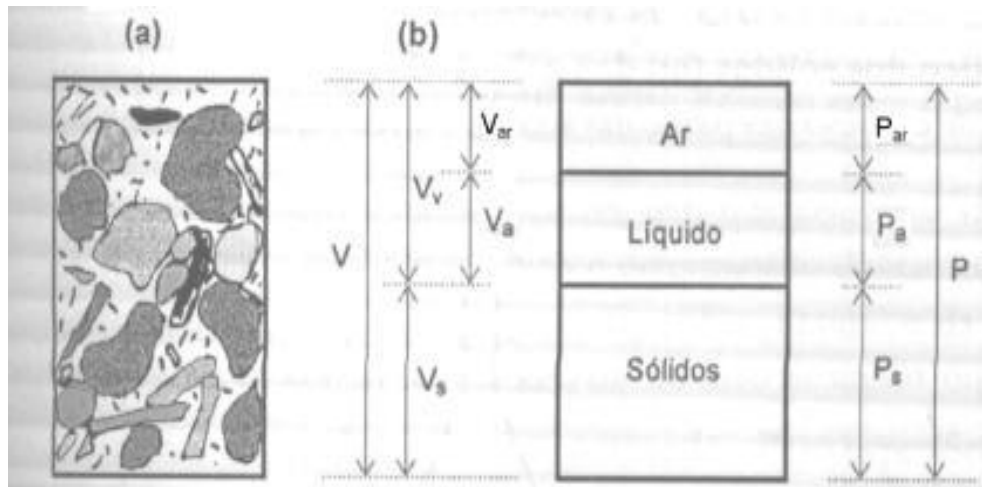
Denominação distinta é utilizada para diferentes tamanhos de grãos, seus limites, porém, modificam de acordo com os sistemas de classificação. Os valores mais vigentes são indicado na tabela a seguir:

Tabela 1- Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.

Fração	Limites definidos pela Norma da ABNT
Areia grossa	2,0 mm a 4,8 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2,0 mm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: Adaptada, 2017.

A conduta de um solo provém da quantidade relacionada de cada uma das três fases (sólidos, água e ar). Diferentes relações são designadas para expor as frações entre elas. Como mostra a figura abaixo:

Figura 1 - As fases do solo

Fonte: Carvalho, 1998.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

A finalidade da classificação do solo, sob a ótica da engenharia geotécnica, é ser capaz de presumir o provável desempenho do solo ou, no mínimo, direcionar o programa de investigação adequado para proporcionar a correta análise de um problema.

A implantação básica da rodovia compreende a construção da infraestrutura viária, envolvendo, portanto, a execução dos serviços preliminares pertinentes, a execução da plataforma terraplanada, a execução dos dispositivos de drenagem e de travessias de talwegues e de obras relacionadas com declividades acentuadas do relevo, bem como das obras de acabamento de terrapleno e das obras complementares e de proteção do corpo estrada, conforme SÉRGIO *et.al.*(2010).

2.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Para realização deste ensaio, pode-se usar dois processos para preparação de amostras de caracterização, sendo um com secagem prévia e outro sem secagem prévia da amostra. Para isso se faz necessário seguir o procedimento da NBR 6457:2016 - Amostra de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaio de caracterização.

2.7.1 Preparação com secagem prévia

- a) Secar a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica.
- b) Desmanchar os torrões, evitando-se quebre de grãos, e homogeneizar a amostra.
- c) Com auxílio do repartidor de amostra, ou pelo quarteamento, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.

2.7.2 Amostra para análise Granulométrica

- a) Tomar uma fração da amostra obtida e passar na peneira de 76mm, desprezando-se o material eventualmente retido.
- b) Do material passado na peneira de 76mm, tomar uma quantidade, função da dimensão estimada dos grãos maiores, conforme indicado na tabela 2.

Tabela 2 - 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

Fonte: Adaptada da NBR 6457:1986.

2.7.3 Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade

- a) Tomar uma fração da amostra, e passar na peneira de 0,42mm, de modo a se ter cerca de 200g de material passado. O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

2.7.4 Amostra para determinação da massa específica dos grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm

- a) Tomar uma fração da amostra, e passar na peneira de 4,8mm, de modo a se ter cerca de 500g de material passado. O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Nota: O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo da análise granulométrica por sedimentação, deve ser determinado a partir de cerca de 500g de material passado na peneira de 2,0mm.

2.7.5 Amostra para determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água dos grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8mm

a) Tomar uma fração da amostra, e passar na peneira de 7,6 e 4,8mm, de modo a se ter uma quantidade de material passado na peneira de 76mm e retido na de 4,8mm, função da dimensão estimada dos grãos maiores, conforme indicado na tabela 03.

Tabela 3 - 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

Fonte: Adaptada, 2017.

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

2.7.6 Preparação sem secagem prévia

- a) A amostra deve vir para o laboratório convenientemente embalada de modo a evitar perda de umidade.
- b) Desmanchar os torrões e homogeneizar a amostra, evitando-se a quebra de grãos e, tanto quanto possível, a perda de umidade.
- c) Com auxílio do repartidor de amostra, ou pelo quartemaneto, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa, em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.

2.7.7 Amostra para determinação dos limites de líquidos e plasticidade

- a) Tomar uma fração da amostra, correspondente cerca de 200g de material seco.
- b) Remover manualmente conchas, raízes, gravetos, etc, assim como os grãos mais grossos eventualmente presentes na amostra.

c) Se o material estiver muito úmido, secar ao ar metade da amostra, até a umidade correspondente ao primeiro ponto do ensaio do limite de liquidez e o restante até o ponto correspondente ao limite de plasticidade presumível. Essas porções constituem as amostras a serem ensaiadas.

2.7.8 Amostra para determinação da massa específica dos grãos

a) Tomar uma fração da amostra, correspondente a cerca de 500g de material seco e passar na peneira de 4,8mm. O material assim obtido constitui a amostra ensaiada.

2.8 PROCEDIMENTO SEGUNDO A NORMA - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA NBR 248:2003

- a) Amostragem.
- b) Coletar a amostra de agregado conforme a NBR 7216.
- c) Da amostra remetida ao laboratório, depois de umedecida para evitar segregação e de cuidadosamente misturada, formar duas amostras para o ensaio, de acordo com a NBR 9941. A massa mínima por amostra de ensaio é indicada na Tabela 4.

Tabela 4 - Massa mínima por amostra de ensaio.

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,8	0,5
6,3	3
> 9,5 e < 25	5
32 e 38	10
50	20
64 e 76	30

Fonte: NBR 248, 2003.

- a) Secar as amostras de ensaio em estufa (105 - 110°C) , esfriar à temperatura ambiente e determinar suas massas (M1 e M2). Tomar a amostra (M1) e reservar a outra (M2).
- b) Encaixar as peneiras previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Prover um fundo de peneiras adequado para o conjunto.

- c) Colocar a amostra ou porções dela sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Se o material apresentar quantidade significativa de materiais pulverulentos, ensaiar previamente as amostras conforme a NBR 7219. Considerar o teor de materiais pulverulentos no cálculo da composição granulométrica.
- d) Promover a agitação mecânica do conjunto por um tempo razoável, para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, proceder conforme (m).
- e) Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados até que, após 1min de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retirado. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado. Se as dimensões da peneira não permitirem estes movimentos, proceder segundo uma das seguintes alternativas:
 - I. Realizar a verificação acima, em diversas etapas, através de peneira de mesma abertura e com dimensões próprias para a agitação manual prescrita;
 - II. Limitar a quantidade de material, sobre a tela, a uma única camada de grãos e experimentar, manualmente, a passagem de cada um dos grãos pela tela, sem contudo fazer pressão sobre esta.
 - a) Remover o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovar a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno é considerado como retido (juntar na bandeja) e o despreendido na parte inferior como passante.
 - b) Proceder à verificação da próxima peneira, conforme (h), depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas conforme (h). Caso a amostra tenha sido dividida, tomar nova porção e proceder como descrito a partir de (f).
 - c) Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3 % da massa seca da amostra, inicialmente introduzida no conjunto de peneiras.
 - d) Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira para depois passar à seguinte. Agitar cada peneira, com a

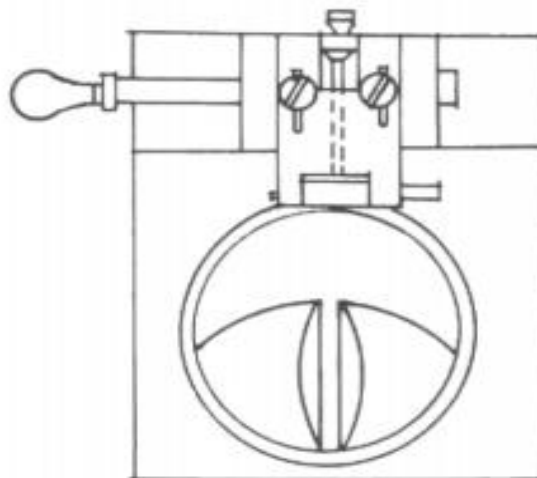
amostra ou porção desta, por tempo não inferior a 2 minutos, procedendo à verificação do peneiramento conforme (h) . Seguir de acordo com (i) e (l).

- e) Proceder ao peneiramento da amostra (M2), conforme descrito em (e) a (m).

Nota: Quando a amostra de agregado graúdo apresentar grãos com dimensões inferiores a 4,8 mm, a fração passante na peneira correspondente pode ser reduzida, conforme a NBR 9941, para a massa mínima indicada na Tabela. Proceder ao peneiramento da amostra reduzida, conforme descrito em (e) a (m), determinando as porcentagens retidas conforme. Calcular a massa teórica retida em cada peneira, multiplicando a massa original, passante na peneira 4,8 mm, pela respectiva porcentagem retida, obtida com a amostra reduzida. Considerar as massas teóricas para o cálculo das porcentagens retidas da amostra de ensaio.

2.9 PROCEDIMENTO SEGUNDA A NORMA - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ NBR 6459:2016

- a) Preparação da mostra
- b) Tomar metade da quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457:2016.
- c) Colocar a amostra na capsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, com consistência tal que sejam necessários cerca de 35 golpes para fechar a ranhura
- d) O tempo de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 minutos ,sendo o maior intervalo de tempo.para solos mais argilosos
- e) Transferir parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura seja da ordem de 10 mm
- f) Realizar esta operação de maneira que não fiquem bolhas de ar no interior da mistura
- g) Retornar o excesso de solo para a capsula
- h) Dividir a massa de solo em duas partes, passando o cinzel através da mesma, de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central, normalmente à articulação da concha, como indicado na Figura 2. O cinzel deve ser deslocado perpendicularmente à superfície da concha.

Figura 2 - Aspecto da Ranchura

Fonte: NBR 6459, 2016.

- a) Recolocar, cuidadosamente, a concha no aparelho e golpeá-la contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Anotar o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente
- b) Transferir, imediatamente, uma pequena quantidade do material de junto das bordas que se uniram para um recipiente adequado para determinação da umidade de conforme a NBR 6457:2016
- c) Transferir o restante da massa para a capsula de porcelana. Lavar e enxugar a concha e o cinzel
- d) Adicionar água destilada à amostra e homogeneizar durante pelo menos 3 minutos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula
- e) Repetir as operações descritas de (f) a (k), obtendo o 2º ponto de ensaio
- f) Repetir as operações (l) e (e) a (k) de modo a obter pelo menos mais três pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes
- g) Amostra preparada sem secagem prévia
- h) Se a amostra apresentar umidade inferior a correspondente ao 1º ponto de ensaio (cerca de 35 golpes para fechar a ranhura), proceder conforme c.
- i) se a amostra apresentar umidade tal que permita a obtenção do 1º ponto de ensaio, coloca-la na cápsula de porcelana e mistura-la de forma a se obter uma pasta homogênea. A seguir, proceder como descrito de (e) a (n)

2.10 PROCEDIMENTO SEGUNDA A NORMA - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE NBR 7180:2016

I. Preparação da amostra

Tomar metade da quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457.

II. Amostra preparada com secagem rápida

- a) Colocar a amostra na cápsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos, amassados e revolvendo, vigorosa e continuamente, com o auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de consistência plástica
- b) O tempo total de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 min, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos
- c) Tomar cerca de 10 g da amostra assim preparada e formar uma pequena bola, que deve ser rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro
- d) Se a amostra se fragmentar antes de atingir o diâmetro de 3 mm, retorná-la á cápsula de porcelana, adicionar água destilada, homogeneizar durante pelo menos 3 min, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula e repetir o procedimento descrito em (c).
- e) Se a amostra atingir o diâmetro de 3 mm sem se fragmentar, amassar o material e repetir o procedimento descrito em (c).
- f) Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetro de 3 mm e comprimento da ordem de 100 mm (o que se verifica com o gabarito de comparação), transferir imediatamente as partes do mesmo para um recipiente adequado, para determinação da umidade de conforme a NBR 6457:2016
- g) Repetir as operações (c) a (f) de modo a obter pelo menos três valores de umidade

III. Amostra preparada sem secagem prévia

- a) Colocar a amostra na cápsula de porcelana, amassar e revolver vigorosa e continuamente com o auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de consistência plástica
- b) Proceder como descrito de (c) a (g).

2.11 PROCEDIMENTO SEGUNDO A NORMA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA NBR 6508:2016

- a) Na preparação da amostra para o ensaio, tomar cerca de 250 g da amostra preparada de acordo com o disposto na NBR 6457:2016. A quantidade restante é utilizada para o segundo ensaio
- b) Homogeneizar a amostra e pesar, com resolução de 0,01 g, quantidade tal que a massa seca esteja em torno de 50 g para solos argilosos e siltosos, e de 60 g para solos arenosos, quando for empregado picnômetro de 500 cm³, e anotar a massa como M1. Quando o ensaio for realizado com picnômetro de 1000 cm³, as quantidades de material a serem tomadas são aproximadamente o dobro
- c) Colocar a amostra a ser ensaiada em cápsula com água destilada em quantidade suficiente para completa imersão do material, durante 12 h, no mínimo
- d) Com o restante do material efetuar a determinação da umidade, de acordo com a NBR 6457
- e) Transferir a amostra para o copo de dispersão, lavando-se a cápsula com água destilada para completa remoção do material, tomando-se a precaução de evitar perda do mesmo
- f) Acrescentar água destilada até cerca de metade do volume do cope e dispersar durante 15 min
- g) Transferir a amostra para o picnômetro, com auxílio do funil de vidro, lavando-se o copo de dispersão e o funil com água destilada para completa remoção do material, tomando-se a precaução de evitar perda do mesmo
- h) Adicionar água destilada até cerca de metade do volume do picnômetro. A seguir, aplicar vácuo de, no mínimo, 88 kPa (66 cm de Hg a 0°C), durante pelo menos 15 min. agitando o picnômetro em intervalos regulares de tempo.
- i) Acrescentar água destilada até cerca de 1 cm abaixo da base do gargalo e aplicar a pressão de vácuo já referida, durante o mesmo intervalo de tempo. No caso de não se obter a remoção total do ar aderente as partículas de determinados tipos de solo, deve-se colocar o picnômetro em banho-maria durante 30 min, no mínimo, adicionando-se água destilada para compensar a evaporação.
- j) Adicionar água destilada até cerca de 1 cm abaixo da marca de calibração do picnômetro.
- k) Deixar, em seguida, o picnômetro em repouso até que a temperatura do mesmo se equilibre com a do ambiente.

- l) Com o auxílio de um conta-gotas, adicionar água destilada no picnômetro até que a base do menisco coincida com a marca de referência.
- m) Enxugar a parte externa do picnômetro e a parte interna do gargalo acima do menisco.
- n) Pesquisar o conjunto picnômetro + solo + água, com resolução de 0.01 g, e anotar como M2
- o) Determinar, logo a seguir, com resolução de 0,1°C, a temperatura T do conteúdo do picnômetro. Com esse valor, obter na curva de calibração correspondente, com resolução de 0,01 g, a massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, e anotar como M3.
- p) Calcular a massa específica dos grãos do solo utilizando-se a fórmula:

$$\rho_s = \frac{M_1 \cdot 100 / (100 + w)}{[M_1 \cdot 100 / (100 + w) + M_3 - M_2]} \cdot \rho_{wt} \quad (\text{Equação 1})$$

Fonte: NBR 6508, 2016

2.12 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)

Para realização deste ensaio se faz necessário seguir o procedimento da norma do DNIT/2014 - Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

2.12.1 Procedimento segundo a norma Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNIT/2014

- a) Fixa-se o molde à sua base metálica, ajusta-se o cilindro complementar e apoia-se o conjunto em uma base com massa igual ou superior a 90 kg. Compactasse o material referido na seção 3 com o disco espaçador especificado na alínea “b”, da seção 2 como fundo falso, em cinco camadas iguais, de forma a se ter uma altura total de solo de cerca de 12,5 cm após a compactação. Cada camada deve receber 12 golpes do soquete, no caso de material de subleito, 26 ou 55 golpes, nos casos de materiais de sub-base ou base, respectivamente, caindo de 45,72 cm, e distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada.
- b) Remove-se o cilindro complementar, tendo-se antes o cuidado de destacar, com o auxílio de uma espátula, o material a ele aderente. Com uma régua rígida biselada rasa-

se o material na altura exata do molde e determina-se, com aproximação de 5 g, o peso do material úmido compactado, P'h.

- c) Retira-se do material excedente da moldagem uma amostra representativa de cerca de 100 g, para a determinação do teor de umidade. Pesa-se essa amostra e seca-se em estufa a 105 °C – 110 °C, até constância de massa, e executam-se as pesagens, com aproximação de 0,1 g.
- d) Repetem-se as operações das subseções a, b e c para teores crescentes de umidade, utilizando amostras de solo não trabalhadas, tantas vezes quantas necessárias para caracterizar a curva de compactação. Estes corpos-de-prova moldados serão utilizados nos ensaios de expansão e penetração. Proceda-se ao cálculo da massa específica aparente do solo, conforme descrito na seção 5 desta Norma.

2.13 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Para realização deste ensaio é preciso seguir o procedimento da norma Solo - Ensaio de Compactação NBR 7182:2016.

2.13.1 Procedimento segundo a norma Solo - Ensaio de Compactação NBR 7182:2016

- a) Ensaio realizado com reuso de material, sobre amostra preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica.
 - b) Fixar o molde cilíndrico à sua base, acoplar o cilindro complementar e apoiar o conjunto em uma base rígida. Caso se utilize o cilindro grande, colocar o disco espaçador. Se necessário, colocar uma folha de papel filtro com diâmetro igual ao do molde utilizado, de modo a evitar a aderência do solo compactado com a superfície metálica da base ou do disco espaçador.
 - c) Tomar a amostra preparada para ensaios com reuso de material de acordo com a NBR 6457.
 - d) Na bandeja metálica, com auxílio da proveta de vidro, adicionar água destilada, gradativamente e revolvendo continuamente o material, de forma a se obter um teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível.
- I. Notas: Para determinados solos, a uniformização da umidade, quando da incorporação da água no material seco até a umidade higroscópica, pode apresentar algumas dificuldades. Neste caso, recomenda-se que a amostra a ser ensaiada, após a adição da

água e o revolvimento do material, seja colocada em saco plástico vedado e mantida em processo de cura numa câmara durante 24 horas. Antes da compactação, deve-se proceder a um revolvimento adicional da amostra.

II. Para o ensaio realizado sem reuse do material, proceder de forma análoga, para cada uma das porções a serem ensaiadas. Quando for adotado este procedimento, o mesmo deve ser explicitado junto com os resultados.

- a) Após completa homogeneização do material, proceder à sua compactação, atendo-se ao soquete, número de camadas e número de golpes por camada. Os golpes do soquete devem ser aplicados perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície de cada camada, sendo que as alturas das camadas compactadas devem resultar aproximadamente iguais. A compactação de cada camada deve ser precedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente.

Nota: Quando o corpo-de-prova estiver sendo moldado para a realização de outros ensaios (CBR, compressão simples, permeabilidade), a determinação da umidade, h , deve ser feita com uma porção da amostra remanescente na bandeja, retirada imediatamente após a compactação da segunda camada, e de acordo com a NBR 6457. Neste caso, fica sem efeito o procedimento preconizado em h .

- b) Após a compactação da última camada, retirar o cilindro complementar depois de escarificar o material em contato com a parede do mesmo, com auxílio de espátula. Deve haver um excesso de, no máximo, 10 mm de solo compactado acima do molde que deve ser removido e rasado com auxílio de régua biselada. Feito isso, remover o molde cilíndrico de sua base e, no caso do cilindro pequeno, rasar também a outra face.
- c) Pesar o conjunto, com resolução de 1g, e, por subtração do peso do molde cilíndrico, obter o peso úmido do solo compactado, Ph .
- d) Com auxílio do extrator, retirar o corpo-de-prova do molde e do centro do mesmo, tomar uma amostra para determinação da umidade, h , de acordo com a NBR 6457.
- e) Destorroar o material, com auxílio da desempenadeira e da espátula, até que passe integralmente na peneira de 4,8 mm ou na de 19 mm, respectivamente, conforme a amostra, após preparada, tenha ou não passado integralmente na peneira de 4,8 mm.
- f) Juntar o material assim obtido com o remanescente na bandeja e adicionar água destilada, revolvendo o material, de forma a incrementar o teor de umidade de aproximadamente 2%.

- g) Repetir as operações descritas em (b) e de (e) em diante, até se obter cinco pontos, sendo dois no ramo seco, um próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco e dois no ramo úmido da curva de compactação.
- h) Ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostra preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica.
- i) Tomar a amostra preparada para ensaios sem reuso de material, de acordo com a NBR 6457 e dividi-la em cinco porções iguais.
- j) A seguir, com cada uma dessas porções proceder coma descrito em (b) e de (d) a (h), ressaltando-se que a primeira porção deve estar com teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível, a segunda com umidade 2% superior à primeira, e assim por diante.
- k) As porções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.
- l) Ensaio realizado com reuso de material, sobre mostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível.
- m) Tomar a amostra preparada para ensaios com reuso de material de acordo com a NBR 6457.
- n) A seguir, proceder coma descrito em (b) e de (e) a (k).
- o) Ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível.
- p) Tomar a amostra preparada para ensaios sem reuso de material, de acordo com a NBR 6457 e dividi-la em cinco porções iguais.
- q) Com a primeira porção, proceder coma descrito em (b) e de (e) a (h). Para as demais porções, proceder coma descrito em (b) e de (d) a (h), ressaltando-se que a segunda porção deve estar com teor de umidade 2% superior à primeira, e assim por diante.
- r) As porções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos no final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.
- s) Ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas a 3% acima da umidade ótima presumível.
- t) Tomar a amostra preparada de acordo com a NBR 6457 e dividi-la em cinco porções iguais.

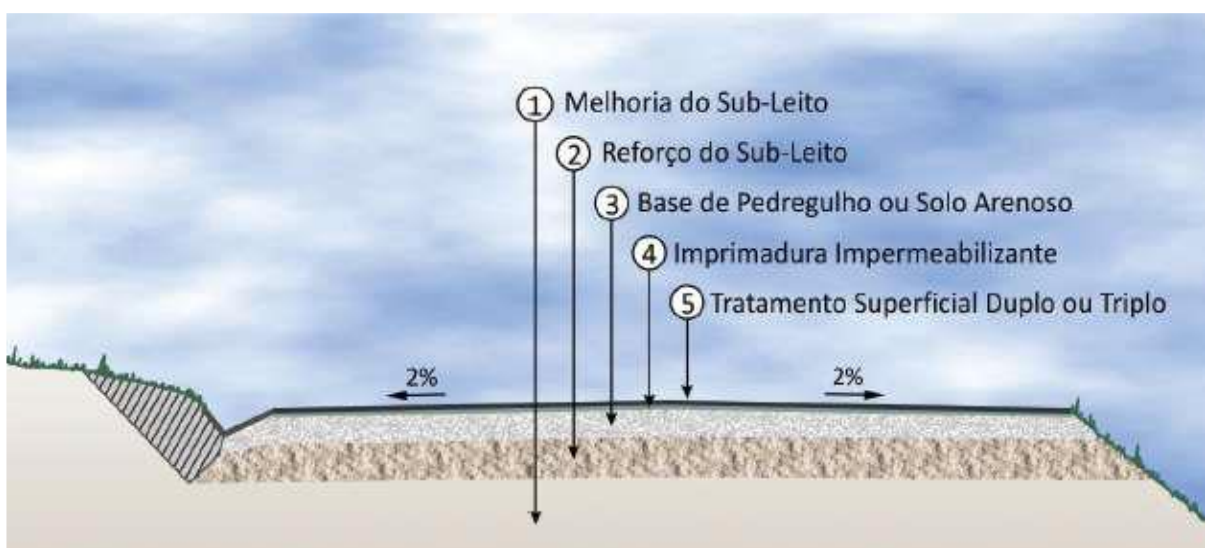
- u) Com a primeira porção, proceder como descrito em (b) e de (e) a (h). Para as demais porções, proceder da mesma forma, ressalvando-se que a segunda porção deve estar com umidade 2% inferior à primeira, e assim por diante. As condições de umidade preconizadas devem ser obtidas por secagem das porções ao ar.
- v) As porções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo a umidade ótima, preferencialmente no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

2.14 CONCEITO DE PAVIMENTO

Pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada, técnica e economicamente à: resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los; melhorar as condições de rolamento, quanto ao conforto e segurança; e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento (Senço,1997).

Segundo Bernucci *et al.* (2010) pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança, como demonstra na figura 3 abaixo.

Figura 3 – Seção típica de pavimento



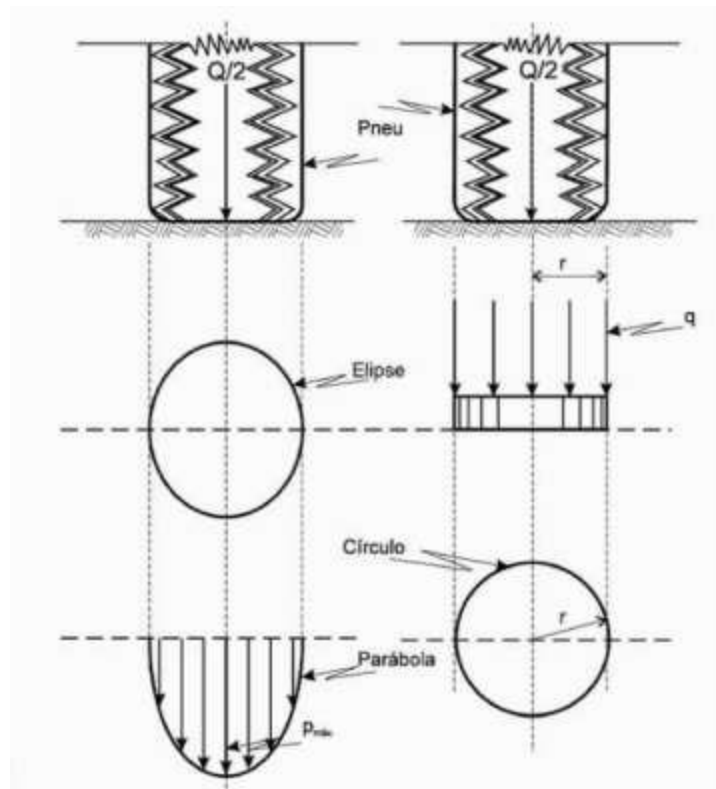
Fonte: Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais, v. 01, pg. 68. Dia 15 de abril de 2016.

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, aperfeiçoamento operacional para o tráfego, uma vez que é criada uma superfície mais regular, mais aderente, menos ruidosa diante da ação dos pneumáticos.

As cargas que solicitam um pavimento são transmitidas por meio das rodas pneumáticas dos veículos. A área de contato entre os pneus e o pavimento tem a forma aproximadamente elítica, e a pressão exercida tem a distribuição aproximadamente parabólica, com pressão máxima exercida no centro da área carregada. (Figura 4). Para efeito apenas de estudo da ação das cargas, visando ao dimensionamento do pavimento, pode-se admitir uma carga aplicada gerando uma pressão de contato uniformemente distribuída numa área de contato circular.

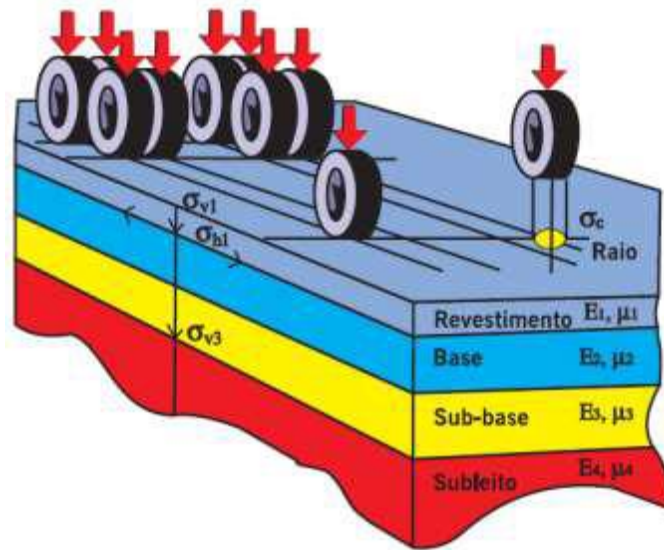
A pressão de contato é aproximadamente igual a pressão dos pneus, sendo a diferença desprezível para efeito do dimensionamento. A transmissão das cargas é feita pelas rodas, as pressões a serem calculadas ou admitidas são referidas as cargas das rodas, muito embora se faça referência a cargas por eixo (Senço, 1997).

Figura 4 – Área de contato Pneu x Pavimento



Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação, 1997.

Figura 5 – Sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes



Fonte: Albernaz, 1997.

Ao oferecer condição para uma via de melhor qualidade de rolamento, involuntariamente se permite aos usuários uma significativa perda nos custos operacionais, considerando-se que os custos de operação e de manutenção dos veículos estão relacionados às condições de superfície dos pavimentos.

Seja dito de passagem, consiste a verdadeira arte e a ciência da engenharia de pavimentação, que, tal como pura técnica já era assim compreendida há mais de dois milênios.

2.15 CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO

Os pavimentos podem ser classificados em rígidos e flexíveis. Porém alguns autores classificam os pavimentos em três grupos diferentes, adicionando o grupo de pavimento semi-rígidos aos demais. Citado por Pinto e Prussler (2002).

Segundo Bernucci *et al.* (2010) o pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento.

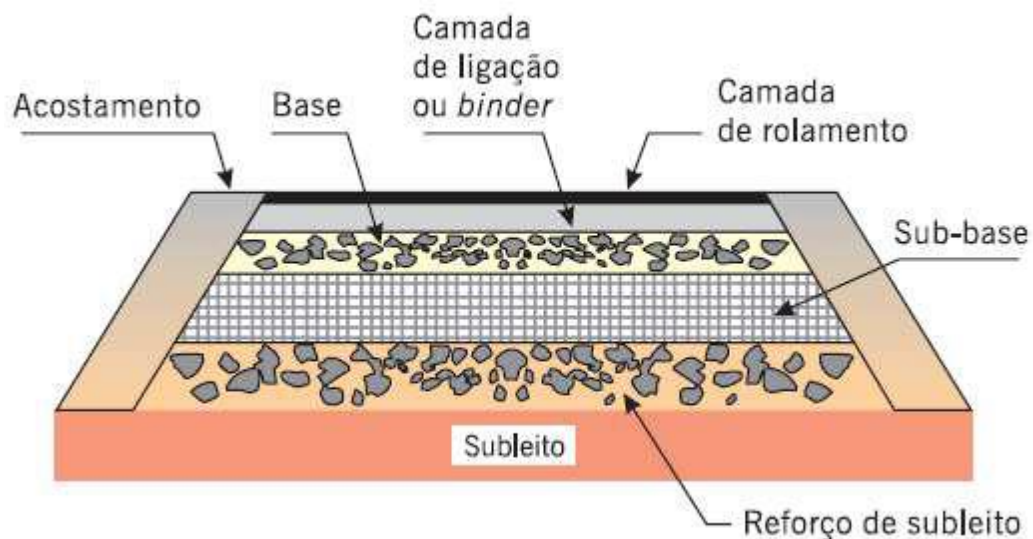
2.15.1 Pavimento Flexível

Segundo o DNIT (2006) pavimento flexível 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. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

Pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura e deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (SENÇO, 1997).

São constituídos basicamente de agregados e ligantes asfálticos, a estrutura é formada por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (pode ou não existir). O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de binder (BERNUCCI *et al.* 2010).

Figura 6 – Croqui do Pavimento Flexível (Asfáltico - corte transversal)



Fonte: Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros PETROBRAS.

2.15.2 Pavimento Semirrígido

Semirrígido define por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias. Rígido é onde o pavimento tem maior dureza, em relação às outras camadas inferiores, logo, absorve todas as tensões resultantes do carregamento aplicado.

2.15.3 Pavimentos Rígidos

Para Senço (1997) Pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos especialmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações.

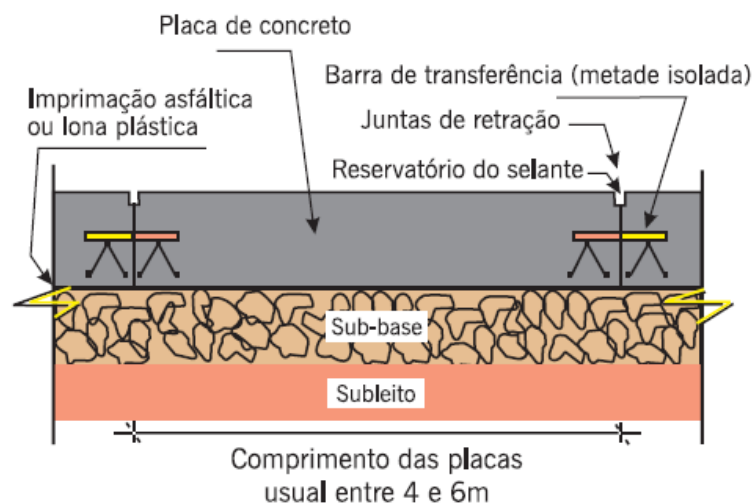
Segundo Pinto e Prussler (2002) pavimento rígido é aquele no qual o revestimento resiste a maior parte das tensões que atuam no pavimento, devido a sua rigidez ser bem maior que suas camadas.

Já para DNIT (2006) pavimento rígido é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland.

As camadas que constituem o pavimento rígido, em sua maioria são camadas de subleito, sub-base e uma placa de concreto – esta desempenha a função de base e revestimento.

Figura 7 – Croqui do Pavimento Rígido (Concreto-cimento -corte longitudinal)



Fonte: Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros PETROBRAS.

2.16 REVESTIMENTOS

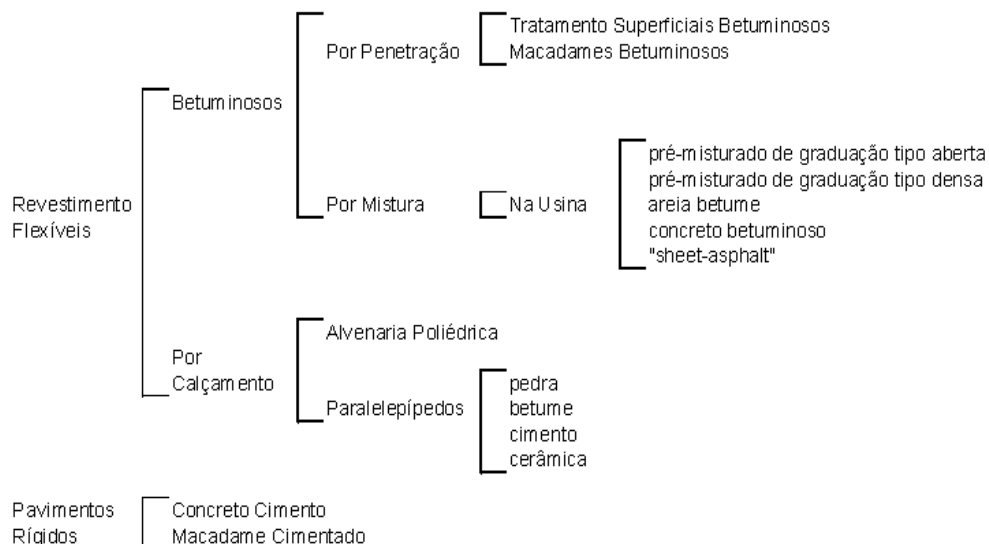
Conforme Souza (1980) é a camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar a segurança e o conforto da pista de rolamento e por último, transmitir de forma adequada as ações do tráfego às camadas abaixo.

Também chamado de capa de rolamento ou simplesmente capa. É a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, ou seja, aumentando a durabilidade da estrutura (Senço,1997).

Dentro desta camada há classificações que diferenciam a aplicação do revestimento asfáltico, como a camada de rolamento, diretamente ligada aos esforços externos e intempéries; a camada de ligação, realizando a conexão entre a anterior e a base do pavimento; camada de nivelamento, utilizada na correção pontual da pista quando necessário manutenção; camada de reforço, chamada de recapeamento e realizada após pavimentação prévia com o intuito de renovação e reforço do revestimento (Balbo, 2007).

Em todos os métodos de dimensionamento, a camada de revestimento tem espessura adotada, seja em função de critérios próprios, seja em função do tráfego previsto. Para vias simples — duas faixas de tráfego e duas mãos de direção — espessuras de 3 a 5 cm são habituais. Para auto-estradas, chega-se a revestimentos mais espessos, entre 7,5 e 10,0 cm (Senço,1997). Os revestimentos podem ser agrupados segundo o esquema a seguir Figura 8.

Figura 8 – Classificação dos Revestimentos



Fonte: DNIT, 2006, pg. 101.

2.16.1 Revestimento Rígido

Concreto de cimento, ou concreto, é constituído por uma mistura rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água. No qual é colocada em uma camada bem adensada. Além de essa camada atuar como revestimento, ela ainda tem a função de base do pavimento (Souza,1980).

Já para Senço (1997) o revestimento rígido é feito de concreto de cimento. Executado em vias de importância, nos primeiros tempos da pavimentação, viu-se inteiramente eliminado dos projetos pela utilização dos revestimentos flexíveis. Porém o retorno à utilização se deve a um opção de concorrente das misturas betuminosas. Constituído dos mesmos das bases rígidas, com condições de resistir aos esforços horizontais e distribuir esforços verticais à sub-base. No caso dos paralelepípedos rejuntados com cimento, a tomada das juntas é feita com argamassa de cimento e areia, o que dá ao conjunto alguma rigidez, justificando a classificação. O concreto de cimento, ou simplesmente "concreto" é constituído por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, distribuído numa camada devidamente adensado. Essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento (DNIT, 2006).

2.16.2 Revestimento Flexível

Os revestimentos flexíveis podem ser agrupados em Betuminosos e Por calçamento. Revestimento por Calçamento são aplicados exclusivamente em zonas urbanas. Pequenos inconvenientes, como uma certa lentidão na execução, a trepidação e sonoridade que provocam, são pouco sentidos ou altamente atenuados em locais que, por natureza, não permitem alias velocidades, como devem ser zonas urbanas (Senço, 1997).

Segundo DNIT (2006) a utilização de revestimento por calçamento em rodovias caiu consideravelmente, na medida em que se intensificou a utilização de pavimentos asfálticos e de concreto, ficando mais restrito a pátios de estacionamento, vias urbanas e alguns acessos viários. Podem ser agrupados em: Alvenaria Poliédrica e Paralelepípedos.

- *Alvenaria Poliédrica: Camadas de pedras irregulares, assentadas e comprimidas sobre um colchão de regularização, constituído de material granular apropriado; as juntas são tomadas com pequenas lascas de pedras e com o próprio material do colchão.*
- *Paralelepípedo: Blocos regulares, assentados sobre um colchão de regularização constituído de material granular apropriado. As juntas entre os paralelepípedos podem ser tomadas com o próprio material do colchão de regularização, pedrisco, materiais ou misturas betuminosas ou com argamassa de cimento Portland.*

Os revestimentos betuminosos, onde o ligante utilizado é o betume, seja ele asfalto ou alcatrão, têm merecido a preferência dos projetistas e dos construtores. Muito embora deva ser considerada boa norma administrativa e técnica o uso do concreto de cimento, deixando alternativa válida para que as decisões não se restrinjam a um tipo único, lista Senço (1997).

Segundo DNIT (2006) os betuminosos são constituídos pela associação de agregados e materiais betuminosos, sendo esta associação feita por duas maneiras clássicas: por penetração (invertida ou direta) e por mistura.

- *Betuminosos por Penetração Invertida: São os executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida(s) de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. Conforme o número de camadas tem-se os intitulados, tratamento superficial simples, duplo ou triplo.*
- *Betuminosos por Penetração Direta: São os executados através do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo. Revestimento típico, por "penetração direta", é o Macadame Betuminoso.*
- *Betuminosos por mistura: O agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, antes da compressão. Quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas, resultam os "Pré-misturados Propriamente Ditos" e, quando feito na própria pista, têm-se os "Pré-misturados na Pista" (road mixes). Conforme os seus respectivos processos construtivos, são adotadas ainda as seguintes designações : Pré - misturado a Frio - Quando os tipos de agregados e de ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito à temperatura ambiente. Pré - misturado a Quente - Quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes.*

2.16.3 Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ

Conforme Senço (1997) é o mais nobre dos revestimentos flexíveis. É a mistura de agregado e betume devidamente dosados, sob execução segundo as especificações. A mistura é feita em usina, seguindo controle rigoroso da granulometria, teor de betume, temperatura do

agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão. Sendo mesmo o serviço de mais acurado controle dos que compõem as etapas da pavimentação, motivo pelo qual é muito usado para execução de revestimento das auto estradas e vias expressas.

2.16.4 Pré-Misturado a quente

Trata-se de uma mistura obtida em usina, composta de agregado e asfalto, ou alcatrão. No entanto, as especificações do pré-misturado a quente são menos rigorosas do que as do concreto betuminoso, quer quanto à granulometria, quer quanto à estabilidade, ou quanto ao índice de vazios. O agregado é aquecido até uma temperatura próxima da temperatura do betume — como no concreto betuminoso —, justificando o nome dado ao produto (Senço, 1997).

Para Souza (1980) é quando o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso antes da compressão. Se o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes, tem-se o Pré-misturado a quente.

2.16.5 Pré-Misturado a frio

Conforme Souza (1980) quando os tipos de agregados e de ligante são espalhados na pista à temperatura ambiente, mesmo que sejam misturados a quente, tem-se o Pré-misturado a frio.

Segundo Senço (1997) é a mistura de agregado e asfalto ou alcatrão, em que o agregado é empregado sem prévio aquecimento, ou seja, à temperatura ambiente. É um produto menos nobre que o pré-misturado a quente e o concreto betuminoso.

2.16.6 Tratamentos Superficiais

Para Senço (1997) consistem na aplicação de uma ou mais camadas de agregado ligadas por pinturas betuminosas. Quando a pintura correspondente a uma camada de agregado e é aplicada sobre essa camada, diz-se que o tratamento superficial é de penetração direta. Quando a pintura correspondente a uma camada de agregado é aplicada sob essa camada, diz-se que é de penetração invertida.

O tratamento simples, executado com o objetivo primordial de impermeabilização ou para modificar a textura de um pavimento existente, é denominado capa selante (DNIT, 2006).

No caso de ocorrer vários tratamentos simples sobrepostos, resultam nos seguintes casos:

- *Tratamento Superficial Simples: Uma camada de agregado e uma pintura de betume;*
- *Tratamento Superficial Duplo: Duas camadas de agregado e duas pinturas de betume;*
- *Tratamento Superficial Triplo: Três camadas de agregado e três pinturas de betume;*
- *Tratamento Superficial Quádruplo: Quatro camadas de agregado e quatro pinturas de betume.*

2.16.7 Outros Revestimentos

Para Senço (1997) lama asfáltica é uma mistura de agregado fino e asfalto diluído, derramado ainda líquido, sobre um antigo revestimento já desgastado pelo uso. Tem a função de tornar melhor as condições de rolamento e a aparência da pista de rolamento.

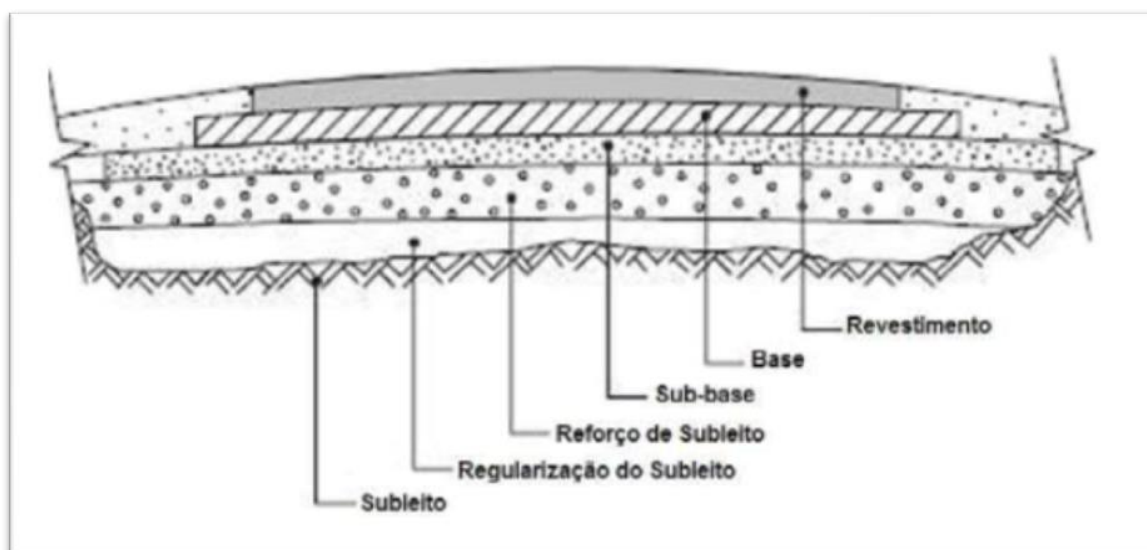
As capas de rolamento podem se tornar mais espessas pelos métodos de dimensionamento de pavimento, conforme a intensidade do tráfego. Nestes casos, essa capa de rolamento é dividida em duas camadas distintas: a superior, que exerce a função de resistir aos desgastes, e a inferior, que é formada por uma camada de granulometria mais graúda que a da capa superior, que apesar de ser complemento do revestimento, atua no conjunto do pavimento exercendo a função de base. Essa camada recebe o nome de “binder”.

2.18 CAMADAS CONSTITUINTES

Denomina-se subleito um sistema de várias camadas de espessuras finitas que se assenta sobre um espaço infinito e exerce a função de fundação da estrutura. A camada construída para resistir e distribuir os esforços resultantes das cargas do tráfego, que são predominantemente de direção vertical, recebe o nome de base do pavimento. A camada superficial e que tem contato direto com os pneumáticos, construída então para resistir aos esforços horizontais, recebe o nome de revestimento ou capa de rolamento, ou simplesmente capa. Esses esforços horizontais provocam o desgaste da superfície, razão porque, periodicamente, o revestimento deve ser superposto por nova camada (recapeamento), reforçado ou mesmo substituído. A seção transversal típica do pavimento, incluindo as devidas camadas, apresenta: fundação, subleito e as camadas com espessuras e materiais determinados por um dos inúmeros métodos de dimensionamento (Figura 9), (Senço, 1997).

De acordo com Medina (1997) revestimento é a camada destinada a resistir às ações do tráfego e transmiti-las de forma distribuída as camadas inferiores. As camadas de subleito, reforço do subleito, sub-base e base tem grande importância estrutural. Elas são responsáveis por limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento, isto acontece graças a combinação de materiais e espessura das camadas, esse fenômeno é estudado pela mecânica dos pavimentos.

Figura 9 – Seção Transversal Pavimento Flexível



Fonte: Guimarães Neto, 2011.

2.18.1 Subleito

Segundo Senço (1997) é o terreno de fundação do pavimento. É a camada mais próxima da superfície. Se a terraplenagem é recente, o subleito deverá apresentar características definitivas. No caso de uma estrada de terra já em uso há algum tempo e que se pretende pavimentar, o subleito apresenta superfície irregular devido ao próprio uso e aos serviços de conservação.

Conforme Souza (1980) o subleito é considerado e estudado até as profundidades em que atuam as cargas impostas pelo tráfego. Do ponto de vista prático, a profundidade das camadas devem estar num intervalo de 0,60 a 1,50 m.

2.18.2 Regularização do Subleito

É a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo, transversal e longitudinalmente, com o projeto. A operação de regularização é também chamada de preparo do subleito.

2.18.3 Reforço de Subleito

Segundo o autor Balbo (2007), para se utilizar a camada de reforço de subleitos, é necessário levar em conta alguns parâmetros. Admita-se a camada de subleito, constituída de solo com pequena ou medíocre resistência aos esforços verticais, que advém sobre sua extensão. Além disso, é primordial nesse caso, exercer sobre o subleito uma camada de solo que tenha melhoria na qualidade, que atua como um esforço sua extensão, de forma que a fundação subjacente a esse esforço comporta pressões de menor relevância, patível com sua resistência. Em relação a camada de reforço com solo de melhor qualidade será suportada maiores pressões das cargas sobre o pavimento, sendo que necessariamente, é mais resistente que o solo de fundação.

Segundo Souza (1980) é uma camada que existe em pavimentos muito espessos, é executada com um único objetivo, de minimizar a espessura da própria camada de sub-base. Essa camada pode ou não existir, isto depende muito das características dos materiais utilizados e volume de veículos dimensionado em projetos.

Para Senço (1997) é uma camada de espessura constante, construída, se necessário, acima da regularização, com características tecnológicas superiores às da regularização e inferiores à sub-base, camada imediatamente superior. O reforço do subleito é parte integrante especificamente do pavimento e tem funções de complemento da sub-base que, por sua vez, tem funções de complemento da base. Assim, o reforço do subleito também resiste e distribui esforços verticais, não tendo as características de absorver definitivamente esses esforços, o que é característica específica do subleito.

2.18.4 Base

É a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito (Senço, 1997).

Para Souza (1980) é a camada destinada a resistir as ações dos veículos e transmiti-las de forma apropriada ao subleito.

Quando a camada de base é necessária para atuar determinada função, (distribuir os esforços para camadas inferiores) é bastante espessa, busca por motivos de natureza construtiva e econômica, dividindo-se em duas camadas, formando-se a sub-base, maioria das vezes de preço menor, de acordo (Balbo, 2007).

2.18.5 Sub-base

Pinto e Prussler (2002) definem a sub-base como sendo aquela camada situada acima do reforço ou regularização do subleito e abaixo da base do pavimento. É bastante usada em rodovias importantes, no qual suportam tráfegos pesados. Se o solo de subleito é de boa qualidade, a sub-base torna-se desnecessária. Além da função estrutural ao pavimento, a sub-base pode também caracterizar-se por prevenir o acúmulo de água livre no pavimento se o material tiver qualidades granulométricas drenantes; e a prevenção da intrusão do solo do subleito na base, o que leva a destruição do pavimento.

Segundo Senço (1997) a regra geral — com exceção dos pavimento de estrutura invertida — o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base.

A sub-base é a camada complementar à base, por motivos técnicos e econômicos, não for prudente construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. O material constituído da sub-base deve-se ter características tecnológicas superiores às do material de reforço, portanto o material da base tende ser de melhor qualidade do que o material da sub-base, mediante Balbo (2007).

2.19 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

Dentre os estudos necessários para definir de a partir das diversas opções qual o pavimento deve ser executado, primeiro considera-se as questões técnicas como análises de tensões e deformações geradas pela passagem do tráfego previsto e até mesmo incluindo estudos de condições ambientais. Depois observa-se a questão dos materiais que serão aplicados na execução, destacando-se a questão de custos com transporte. Por fim convergindo para a escolha de uma estrutura de pavimento que atenda as especificações e que seja economicamente

viável. Em seguida, após execução, os estudos prosseguem no sentido de avaliar o comportamento do pavimento durante a vida útil.

A determinação do perfil de tráfego que resulta em um novo pavimento, não é um trabalho fácil, na época do estudo básico de implantação ou do projeto executivo precisamente dito. Isso acontece por vários fatores, por exemplo: não existir, ainda, a rodovia, a via estar tão desgastada que o evite o tráfego atual, o tráfego dispõe ocasionalmente e não possui informações históricas.

Nesses fatos, as estimativas deve-se realizadas noutros casos, como pesquisas do tipo origem-destino entre as localidades servidas pela futura via. Em outro fator, o perfil de tráfego pode-se ser logrado por meio de analogias com vias de natureza similar. Quando em outro caso, refere-se projeto de manutenção e recuperação de pavimentos (normalmente constituído por projeto de restauração de pavimento), o perfil do tráfego usuário consegue determinar com maior exatidão com base nas organizações passadas (na ausência de dados atuais) de veículos, apanhado de estatísticas de trânsito com base séries históricas, se acessível.

Muitos casos pode colaborar para impossibilitar a descrição do tráfego preciso, o que retrará no cálculo do número N de repetições de eixos-padrão a ser demandando pela estrutura de pavimento, conforme Manual de implantação básica de rodovia, 2010.

2.20 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O dimensionamento de um pavimento constitui-se na definição das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, de modo que essas camadas seja capaz de resistir, transmitir e distribuir as pressões derivadas da passagem de veículos sobre o subleito, evitando que não ocorra rompimento. O problema de dimensionar pavimento baseia-se em determina um ponto P em algum sistema solicitado, por uma carga de roda $Q/2$ que resulta uma pressão de contato q e verificar a condição de tensão e deformação decorrente, pretende-se supor se haverá ou não ruptura.

De acordo SENÇO (1929)

O dimensionamento pode partir da consideração de que as cargas aplicadas são estáticas; no entanto, ele é submetido a cargas repetidas, sofrendo, devido a essa repetição, deformações permanentes e elásticas, que serão tanto maiores quanto maior for o número de solicitações.

Algumas condições são necessárias para dimensionamento do pavimento, algumas delas são demonstrada na tabela 5 e figura 10.

Tabela 5 - Espessuras mínimas de revestimento asfálticos

N (REPETIÇÕES DO ESRD DE 80 kN)	TIPO DE REVESTIMENTO	ESPESSURA (mm)
$\leq 10^6$	Tratamentos superficiais	15 a 30
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CA, PMQ, PMF	50
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico	75
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	100
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	125

Fonte: DNIT, 2006.

Figura 10 - Condições e restrições gerais para o dimensionamento do pavimento

MATERIAL	RESTRIÇÕES BÁSICAS
Solo de subleitos (CFT) ou para reforços de subleitos	Expansão máxima, no ensaio de CBR (com imersão de quatro dias) de 2% Se CBR < 2% preferível substituição de 1 m por material com CBR > 2%
Reforços granulares para subleitos (misturas solo-agregado)	CBR superior ao subleito; expansão $\leq 2\%$
Sub-bases granulares ou melhoradas com cimento	CBR $\geq 20\%$; Índice de grupo = 0; expansão $\leq 1\%$ (sobrecarga de 4,536 kg)
Bases granulares	CBR $\geq 80\%$, o qual, para $N \leq 10^6$, admite-se CBR $\geq 60\%$ Expansão $\leq 0,5\%$ (sobrecarga de 4,536 kg); LL ≤ 25 e IP ≤ 6 (se LL e IP forem superiores, poderá ser empregado o material que, respeitando as demais condições, apresente equivalente de areia superior a 30%) Há restrições de granulometria. Recomenda-se aumentar 20% de H20 quando $N > 10^7$; admite-se (0,2.H20) para sub-base com material de CBR > 40% e $N \leq 10^6$
Qualquer camada granular (restrições de compactação)	Espessura mínima de 150 mm e máxima de 200 mm

Fonte: Souza, 1981.

2.21 ESTUDO DE TRÁFEGO

No dimensionamento, além dos carregamentos aos quais a estrutura será submetida, devem ser considerados o número de repetições destes carregamentos, o tempo de atuação, definido pela velocidade de tráfego dos veículos e as posições de tráfego dos veículos dentro das faixas de trânsito (SOUZA, 1976).

O objetivo dos estudos de tráfego é obter, através de métodos sistemáticos de coleta, dados relativos aos cinco elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu inter-relacionamento. A partir disso determina-se o número de veículos que circulam em uma via em certo espaço de tempo, e pode-se prever o aumento do fluxo para que o projeto atenda às necessidades futuras da via. (DNIT, 2006).

Os estudos de tráfego permitem a caracterizar o tráfego na região, subsidiar informações sobre indicadores econômicos, além de fornecer o número “N”, utilizado no dimensionamento do pavimento.

Para Pinto e Preussler (2002, p.164), “na determinação do número “N” são considerados fatores relacionados com a composição do tráfego e referidos a cada categoria de veículos, definida em função da carga transportada e do número de eixos dos veículos”.

2.22 ESTUDOS DE OCORRÊNCIA DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO

Segundo DNIT, 2006 o estudo das ocorrências de Materiais para Pavimentação é feito em duas fases, baseados na geologia e pedologia da região, são elas: Prospecção Preliminar e Prospecção Definitiva. Para as ocorrências de materiais consideradas aproveitáveis deve-se proceder da seguinte forma:

- I. Determina-se aproximadamente a área da jazida em estudo;
- II. Executa-se de 4 a 5 furos de sondagem na periferia e no interior da área
- III. delimitada, até a profundidade necessária ou de acordo com o método de extração a ser adotado;
- IV. De cada furo coleta-se um volume de material suficiente para a realização dos ensaios executa-se a classificação expedita para caracterização do material e anotam-se as cotas de mudança de cada horizonte;
- V. Faz-se a amarração dos furos anotando as distâncias entre os mesmos e as suas posições em relação ao traçado da rodovia em estudo.

Para DNIT (2006), as amostras coletadas nas jazidas devem ser ensaiadas quanto a:

- Granulometria por peneiramento do material na peneira 2,0mm e 0,075 mm;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Compactação;

- Índice de Suporte Califórnia (ISC);

Uma ocorrência será considerada satisfatória, quando os materiais coletados e ensaiados apresentarem resultados satisfatórios de acordo com as especificações vigentes ou em caso de necessidade, houver a possibilidade de correção por meio de misturas ou emprego de aditivos (DNIT, 2006).

2.23 DETERMINAÇÃO DO CBR DE PROJETO

A determinação do valor do CBR - Califórnia Bearing Ratio é obtido dando aos ensaios laboratoriais um tratamento estatístico. Também denominado de Índice de Suporte Califórnia (ISC), consiste na determinação da relação percentual entre a pressão necessária para se penetrar um pistão padronizado, em uma amostra de solo devidamente preparada e a pressão para que o mesmo pistão penetre a mesma profundidade, em uma amostra padrão de pedra britada (BRASIL, 1994). Esse tratamento é feito através da distribuição “t” de Student, adequada para amostragens pequenas, sendo que o seu nível de confiança é de 95% para a determinação da capacidade de suporte de projeto.

2.24 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

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

Os métodos mecanísticos utilizam uma teoria para prever as tensões e deformações provenientes do tráfego e do clima na estrutura do pavimento. São baseados na teoria da elasticidade, utiliza programas computacionais para prever o funcionamento da estrutura quando solicitada, permitindo assim a alteração dos materiais ou das espessuras das camadas de modo que o conjunto seja solicitado de forma equilibrada, sem sobrecarregar nenhuma das camadas, evitando assim ruptura precoce do pavimento (PINTO; PREUSSLER, 2002).

Os métodos empíricos se baseiam em coeficientes e correlações obtidas através de experiências e verificações repetidas inúmeras vezes, visando à determinação de espessuras para cada camada de modo que essa determinação obedeça ao critério de ruptura por deformações permanentes (PINTO; PREUSSLER, 2002).

O dimensionamento na determinação das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, de forma a que resistam e possam transmitir e distribuir as pressões resultantes

da passagem dos veículos a o subleito, sem que ocorra ruptura, deformações ou desgaste superficial excessivo. Um dos primeiros métodos de dimensionamento de pavimentos, fundamentado no ensaio C.B.R., desenvolvido por J. Porter, após quase 60 anos, mantém a mesma linha de execução inicial. A utilização do CBR nos métodos do DNER e da Prefeitura Municipal de São Paulo evidencia sua importância (Senço, 1997).

Existem diversos métodos de dimensionamento, como por exemplo: Método da Resiliência, Método da Prefeitura Municipal de São Paulo – PMSP, que é baseado no Método do DNER, Método de Ivanov entre outros. Porém os métodos de dimensionamento normalmente adotados no Brasil são baseados no valor de CBR, sendo o mais usual o Método do DNER.

2.25 MÉTODO DO DNER

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

Segundo Senço (1997), o número de operações de um eixo padrão “N” é determinado pela seguinte equação:

$$N = 365 \times P \times V_m \times FC \times FE \times FR \quad (2)$$

Onde:

N= número equivalente de repetições do eixo de 8,2tf;

365= número de dias no ano;

P= período do projeto em anos;

V_m= volume médio diário do tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto;

FE= fator de eixos;

FC= fator de equivalência de carga para o eixo padrão de 8,2tf;

FR= fator climático regional, adotado FR=1,0.

O fator de eixos (FE) é o coeficiente que tem a função de converter o tráfego em número de veículos padrão no sentido do fluxo do tráfego, em número de passagens de eixos equivalentes, devendo-se calcular o número de eixos dos inúmeros tipos de veículos que irão trafegar na via. O fator de carga (FC) é o coeficiente que multiplicado pelo número de eixos ao qual o pavimento estará solicitado, fornece o número equivalente de operações de eixo padrão.

É o efeito da passagem de um veículo qualquer, com o efeito provocado pela passagem de um veículo tido como padrão, considerando ESRD de 8,2tf, (SENÇO, 1997).

Para a determinação de FE e FC, é necessária a execução de uma contagem de tráfego no trecho em estudo a fim de se obter a composição do tráfego e determinar o seu volume total (DNIT, 2006a).

O número de repetições do eixo padrão “N” deve ser multiplicado por um coeficiente de fator climático (FR). (PINTO; PREUSSLER, 2002).

A capacidade de suporte é determinada pelo ensaio de ISC ou CBR, desenvolvido com corpos-de-prova moldados em laboratório, para as condições de massa específica aparente e umidade de campo. A escolha do material da base deve atender as especificações abaixo descritas.

Quadro 1 – Escolha do Material da Base (Método CBR)

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

Fonte: Autor, 2017.

Segundo DNIT (2006) recomenda-se que o grau de compactação calculado estatisticamente, em nenhum caso, seja inferior a 100% do que foi especificado. Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$. Os materiais empregados no pavimento classificam-se da seguinte maneira:

- a) Os materiais para reforço de subleito devem apresentar CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$. Recomenda-se utilizar CBR $\geq 10\%$;
- b) Materiais para sub-base, os que apresentam C.B.R. $\geq 20\%$, 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 b), Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$. Em Casos de LL e LP superiores, o material poderá ser utilizado se apresentar equivalente de areia $> 30\%$.

Em caso de número “N” $\leq 5 \times 10^6$, admite-se material para a base com CBR ≥ 60 (Quadro 1). Quanto a granulometria devem se enquadrar nas faixas granulométricas E e F conforme quadro 2. A fração que passa na peneira n° 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira n° 40. Para número “N” $\geq 5 \times 10^6$, o material para base deve apresentar CBR ≥ 80 e enquadrar-se nas faixas granulométricas A, B e C (Brasil, 2006).

Quadro 2 – Faixa Granulométrica

Tipos Peneiras	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: DNIT, 2006, p.143.

Quanto a fixação da espessura mínima do revestimento é recomendado que se adote os valores determinados partir do número “N”, conforme quadro 3. Para fins de cálculo despreza-se essa espessura quando o $N \leq 10^6$.

Quadro 3 – Espessura mínima do revestimento (Método CBR)

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

Fonte: DNIT, 2006.

As espessuras máximas e mínimas de compactação para camadas granulares são de 20 e 10 cm, respectivamente. E a espessura mínima construtiva para essas camadas é de 15 cm (BRASIL, 2006).

A determinação das espessuras H_m , H_n e H_{20} , podem realizadas pela equação (3), em função do número N e do CBR, ou pelo gráfico da figura 11.

(3)

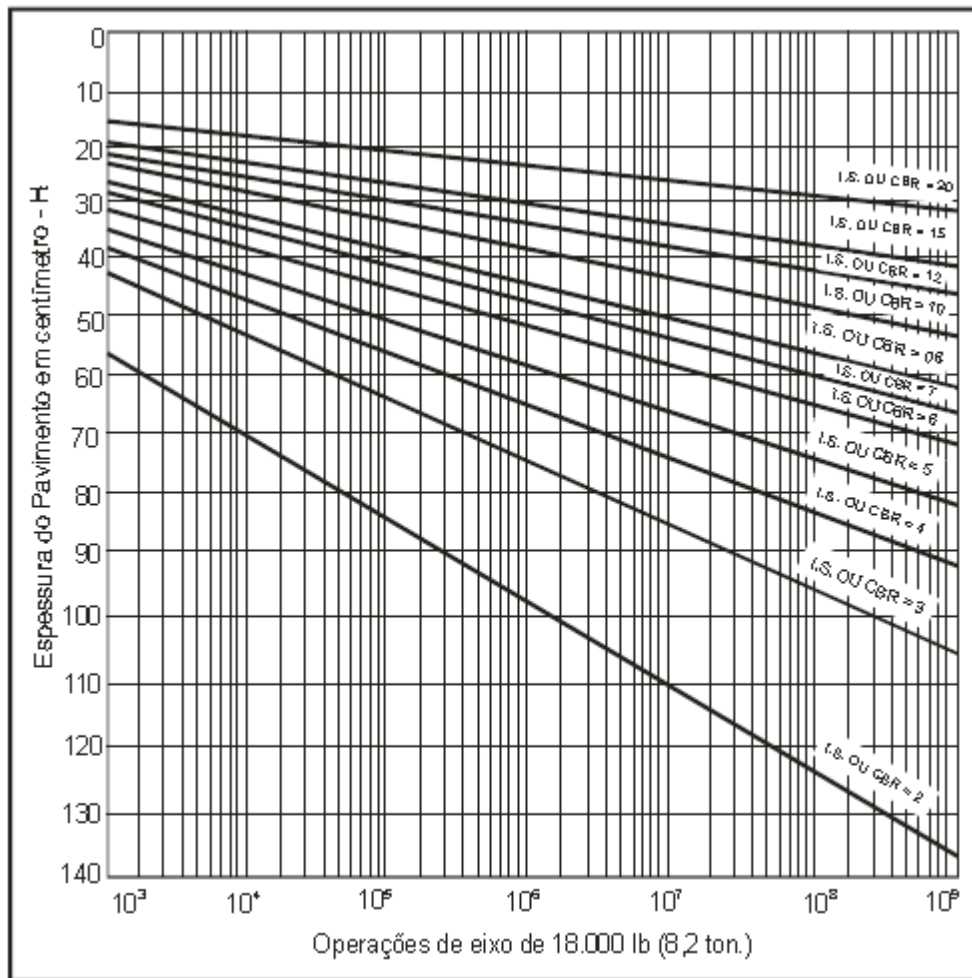
Ht: Altura total (H20, Hn e Hm)

N: Número "N" da rodovia

CBR: Será considerado CBR da camada inferior

$$Ht = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,589}$$

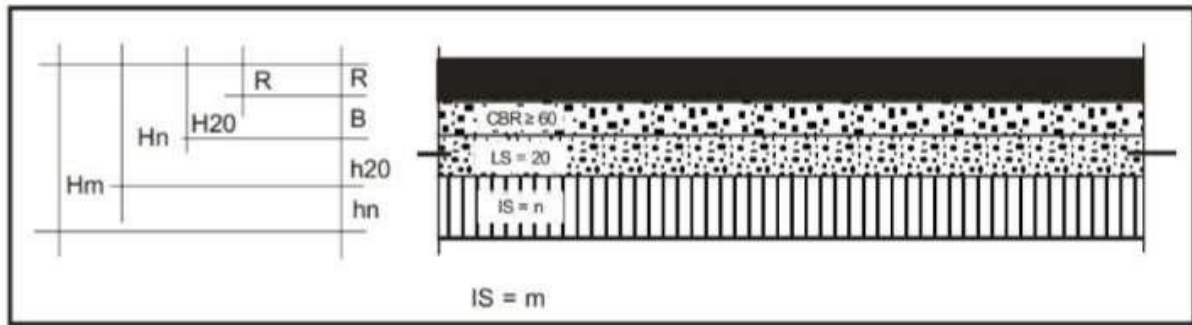
Figura 11 – Determinação das espessuras do Pavimento



Fonte: DNIT, 2006a, pg.149.

Uma vez determinada as espessuras de Hm, Hn e H20, o dimensionamento segue de cima para baixo, observando que o subleito não tem espessura. A figura 14 ilustra as camadas do pavimento e suas respectivas alturas.

Figura 12 – Dimensionamento do Pavimento



Fonte: DNIT, 2006a, pg.149.

As espessuras de base (B), sub-base (h20) e reforço de subleito (hn), são obtidas através da solução sucessiva das seguintes inequações, utilizando os coeficientes apresentados na tabela 6, (BRASIL, 2006).

Tabela 6 – Coeficiente de Equivalência Estrutural (K)

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

Fonte: DNIT, 2006a, pg.146.

$$(R \times KR) + (B \times KB) \geq H20 \quad \text{(Inequação 1)}$$

$$(R \times KR) + (B \times KB) + (h20 \times KS) \geq Hn \quad \text{(Inequação 2)}$$

$$(R \times KR) + (B \times KB) + (h20 \times KS) \geq Hn \quad \text{(Inequação 3)}$$

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;

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

KRef: coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito;

hn: espessura do reforço de subleito;

Hm: 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, $(R \times KR) + (B \times KB) \geq H20$, H20 por $0,8 \times H20$;
- Para $N > 10^7$, recomenda-se substituir na inequação $(R \times KR) + (B \times KB) \geq H20$, H20 por $1,2 \times H20$.

3 METODOLOGIA

3.1 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Através desse trabalho, busca-se realizar a caracterização do solo e quantificar a quantidade de agregado e ligante para loteamento Verdes em Porto Nacional - TO, sendo este localizado as margens da TO 050.

Para atingir os objetivos propostos pela pesquisa, serão desenvolvidas as seguintes atividades:

- I. Definição dos trechos da via adotados para efeito de estudo, bem como os pontos de coleta de amostras caracterização do solo de subleito;
- II. Realização dos ensaios de Limite de liquidez, Limite de plasticidade, Granulométrica por Peneiramento, Compactação, CBR e Expansão;
- III. Dimensionamento da estrutura do pavimento pelo Método do DNER;
- IV. Calcular a quantidade de agregado e ligante necessário para todo trecho, pelo Método Experimental Direto, (Pinto, 2004).

3.2 LOCALIZAÇÃO

Será desenvolvido o dimensionamento do pavimento para loteamento Verdes nas proximidades da TO 050, da cidade de Porto Nacional –TO. A figura 13 representam o loteamento. Já a figura 14 identifica o local de estudo de ocorrência de materiais de pavimentação, denominado jazida ou área de empréstimo localizado em Porto Nacional –TO.

Figura 13 - Loteamento Verdes



Fonte: Google Earth Pro, 2017.

Figura 14 - Imagem da Jazida



Fonte: Autor, 2017.

3.3 LEVANTAMENTOS

3.3.1 Estudos do subleito e de ocorrência de materiais para pavimentação.

3.3.1.1 Coleta de Amostras

Foram coletadas amostras de solo na Quadra do Setor Universitário e na área determinada como área de empréstimo em Porto Nacional visando a identificação de jazidas bem como a caracterização do subleito, através de ensaios laboratoriais.

Para subleito a Comissão de Pavimentação Urbana- ABPv, preconiza a sistemática eixo, borda esquerda, eixo, borda direita, sucessivamente em sentido crescente do estaqueamento, sendo o espaçamento entre os furos de 100 metros quando o solo se mostrar homogêneo, podendo ser de 50 metros caso no aspecto visual o solo mostre-se heterogêneo, e reduzindo ainda ao mínimo de 3 furos quando a via for inferior a 200 metros. Na caracterização de jazida devem ser feitos ao menos 5 furos distribuídos pela área de empréstimo, de forma que a distância entre eles não exceda 50 metros.

Para ensaio de subleito, após análise visual, foram coletados amostra da borda da pista em local onde apresentou classificação geotécnica mais desfavorável, admitindo-se a mesma caracterização para todos os trechos tendo em vista os fins de estudo e a inviabilidade de executar a quantidade preconizada de ensaios laboratoriais. O mesmo parâmetro de coleta foi adotado para a jazida.

Posteriormente seguindo as normas DNER-ME 41/94 Solo- preparação de amostras para ensaio de caracterização e ABNT NBR- 6457 que preconizam os procedimentos necessários para serem conduzidas aos ensaios de compactação e de caracterização, foi feita a identificação conforme procedimento interno do laboratório e o preparo para execução dos ensaios pertinentes. As amostras foram esparramadas e colocadas em local coberto para secagem até atingirem teor de umidade baixa denominada umidade higroscópica. Em seguida foi destorroada com almofariz e mão de grau recoberta com borracha para reduzir o tamanho dos grãos. Passou-se o solo seco e destorroado pelo quarteador de amostras, desprezando-se as frações com diâmetro superior a 76,2 mm, e identificou-se o percentual de finos e grossos por passagem nas peneiras de 19,0 e 4,75 mm, e pesagem do material. Essa proporção definiu a composição das porções das amostras, visando manter a representatividade da composição granulométrica. Tanto para jazida quanto para subleito foram separadas 5 amostras de 5 kg para ensaio de compactação, uma amostra de 1 kg para granulometria. Além de cerca de 200 g de

material passante na peneira de 0,42 mm pra ensaio de Limite de liquidez e Limite de plasticidade.

3.3.1.2 Ensaio Laboratoriais

- Ensaio de Limite de Liquidez (LL)

Neste trabalho seguiremos o método do DNIT (2006), DNER-ME 122/94. O limite de liquidez é preconizado pela ABNT (NBR – 6459), sendo realizado com uma parcela da amostra de solo de cerca de 70g, passante na peneira 0,42mm. O ensaio é executado em um aparelho denominado Casagrande, o qual apresenta uma concha metálica, acionada por uma manivela, que golpeia o solo colocado na base do aparelho.

O (LL) é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar. São realizadas várias tentativas com o solo em diferentes umidade, anotando-se o número de golpes para fechar a ranhura.

- Ensaio de Limite de Plasticidade (LP)

Neste trabalho seguiremos o método do DNIT (2006), DNER-ME 082/94. O ensaio de limite de plasticidade é regulamentado pela ABNT (NBR- 7180), a partir de cerca 50 g de amostra, passante na peneira 0,42mm.

O Limite de Plasticidade (LP) é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão. (Pinto, 2006).obtendo-se o limite pela interpolação dos resultados (Pinto, 2006).

A diferença numérica entre o LL e o LP fornece o Índice de Plasticidade (IP) (Equação 4). Esse índice define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo para as areias, fornece um valioso critério para se avaliar o caráter argiloso de um solo. Quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo. O IP é função da quantidade de argila presente no solo, enquanto o LL e o LP são funções da quantidade e do tipo de argila (DNIT, 2006).

$$IP = LL - LP \quad (4)$$

A umidade que corresponde ao limite entre os estados sólidos e líquidos é denominada limite de liquidez. Enquanto a umidade correspondente ao limites entre o estado plástico e o semi-sólido é denominada limite de plasticidade (SENÇO, 1997).

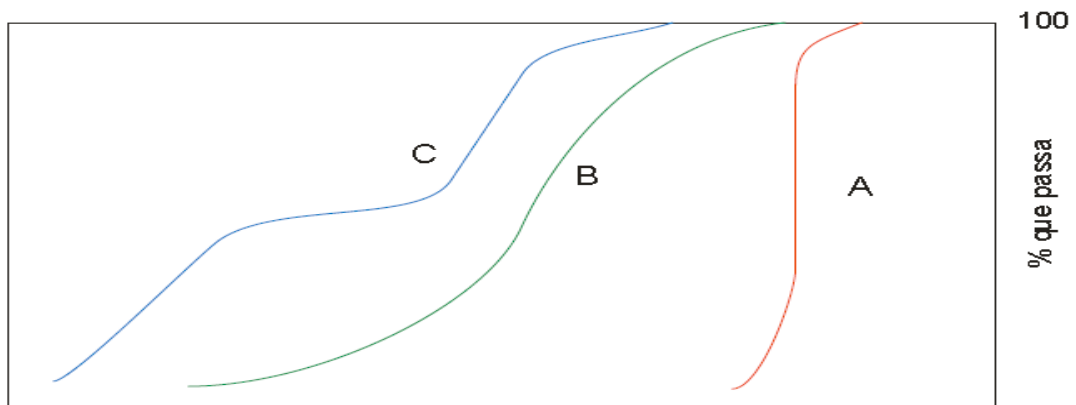
- Ensaio de Granulometria por Peneiramento

Neste trabalho seguiremos o método do DNIT (2006), DNER-ME 080/94 A análise granulométrica é regulamentada pela NBR- 7181 e consiste na determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo e, em geral, é realizado em duas fases: peneiramento e sedimentação. Neste trabalho não será realizada a análise por sedimentação.

Foram utilizados 1000g de amostra, passadas por uma série de peneiras de malhas quadradas de dimensões padronizadas. Pesou-se as quantidades retiradas em cada peneira e calculou-se as porcentagens que passam em cada peneira. A análise granulométrica tem como limitação a abertura da malha das peneiras, que não pode ser tão pequena quanto o diâmetro de interesse. As peneiras utilizadas para peneiramento dos grosso foram de 9,5; 4,8 e 2,0 mm, enquanto para finos foram 1,19; 0,59; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm. O material que passa na peneira de 0,075 mm é diferenciado em argila e silte através do ensaio de sedimentação.

Para a análise dos resultados obtidos traça-se a curva granulométrica em diagrama semi-logarítmico que tem como abscissa os logaritmos das dimensões das partículas e como ordenada as porcentagens em peso do material que passa nas peneiras. Segundo a forma da curva podemos distinguir os seguintes tipos de granulometria: uniforme (curva A), bem graduada (curva B) e mal graduada (curva C) conforme figura 15.

Figura 15 – Dimensão das Partículas.



Fonte: DNIT, 2006, p.33.

- Índice de grupo

Na engenharia de pavimentação, a classificação de solos mais utilizada é a chamada classificação H.R.B (Hyghway Research Board) ou T.R.B (Transportation Research Board). A classificação dos solos T.R.B está baseada nos ensaios de caracterização dos solos, ou seja, o Limite de Liquidez, o Índice de Plasticidade e ensaio de granulometria. (SENÇO, 1997).

O índice de grupo “IG” é um parâmetro adicionado a classificação TRB, sendo que o mesmo é expresso por um número variando se 0 a 20. É através desse índice que se define a capacidade de suporte de um terreno para pavimentação. Quanto menor o valor do índice de grupo, melhor é o solo,. Para obtenção do seu valor utiliza-se a seguinte equação: (BRASIL, 2006).

$$IG = 0,2. a + 0,005 . a. c + 0,01. b. d \quad (5)$$

a = porcentagem de solo passante na peneira 0,075 mm menos 35%. Se o valor de “a” for negativo, adota-se zero, se for superior a 40, adota-se 40.

b = porcentagem de solo passante na peneira 0,075 mm menos 15%. Se o valor de “b” for negativo, adota-se zero, se for superior a 40, adota-se 40.

c = valor do limite de liquidez menos 40%. Se o valor de “c” for negativo, adota-se zero, se for superior a 20, adota-se 20.

d = valor do índice de plasticidade menos 10%. Se o valor de “d” for negativo, adota-se zero, se for superior a 20, adota-se 20.

Determina-se o grupo por eliminação da esquerda para a direita da tabela 7 de classificação dos solos. O primeiro grupo a partir da esquerda, com a qual os valores do solo coincidir, será a classificação correta:

Tabela 7 – Classificação dos Solos

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira nº 200						MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS Mais de 35% passando na peneira nº 200				
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10.....	50 máx.		51 min.								
Nº 40.....	30 máx.	30 máx.	10 máx.								
Nº 200.....	15 máx.	25 máx.		35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira nº 40:											
Limite Liquidez.....				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade...	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo.....	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmento de pedra, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos Siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom						Sofrível a mau				

* O I.P. do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT, 2006, p.55.

- Ensaio de Compactação também denominado Ensaio de Proctor

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, atualmente em vigor no Brasil, especifica os ensaios de compactação para os 3 níveis de energia (normal, intermediária e modificada) nas normas do DNER (DNER-ME 129/94 e DNER –ME 162/94). Sendo que o DNER estipulou Proctor Normal para os solos de fundação dos pavimentos e Proctor Intermediário para os materiais de sub-base e base. Este ensaio é regulamentado pela NBR-7182.

Tem por objetivo determinar qual o teor de umidade ótimo necessário para a obtenção da massa específica aparente máxima após a compactação, que resultará em um aumento na resistência deste solo. Consiste em compactar o solo com percentagens crescentes de umidade, em cinco camadas, num molde cilíndrico de dimensões específicas, sendo que cada camada deve receber um total de 12 golpes para Proctor normal (adotado para subleito) e 26 golpes para Proctor Intermediário (adotado para Jazida), de um soquete padrão com peso de 4,5 kg, tendo como altura de queda 45 cm conforme tabela 8.

Tabela 8 – Energia de Compactação e Características dos Moldes e Soquetes

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: Norma ABNT NBR – 7182/86.

- Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Também conhecido como ensaio de CBR, consiste na determinação da relação percentual entre a pressão necessária para se penetrar um pistão padronizado, em uma amostra de solo devidamente preparada e a pressão para que o mesmo pistão penetre a mesma profundidade, em uma amostra padrão de pedra britada (BRASIL, 1994). Neste trabalho seguiremos o método do DNIT (2006), DNER-ME 049/94, o ensaio é regulamentado pela NBR- 9895. Foram feitas leituras e os dados foram tabulados e serão apresentados em planilhas e gráficos.

3.3.1.3 Determinação do CBR de Projeto

Através da determinação dos valores de Capacidade de Suporte e Expansão encontrados nos ensaios de ISC, serão gerados gráficos com os valores de CBR para os Trechos, sendo o CBR adotado a média dos valores encontrados.

3.3.2 Dimensionamento do Pavimento Flexível

O dimensionamento do pavimento será realizado pelo Método do DNER, desenvolvido pelo engenheiro Murilo de Souza Lopes. A obtenção do número "N" em função dos cálculos não foi possível, visto que não foi feita a contagem de veículos.

O número "N" adotado foi baseado no método da Classificação da Vias da Prefeitura Municipal de São Paulo PMSP que correlaciona este número a característica de função da via, conforme tabela 9.

A classificação do tráfego para ruas e estradas municipais segundo Senço (1997) pela PMSP, é a seguinte:

- Tráfego Leve - Ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número "N" típico de 105 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.
- Tráfego Médio - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.
- Tráfego Meio Pesado - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.
- Tráfego Pesado - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 301 a 1000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de 2×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos a 12 anos.
- Tráfego Muito Pesado - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por número "N" típico superior a 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 12 anos.

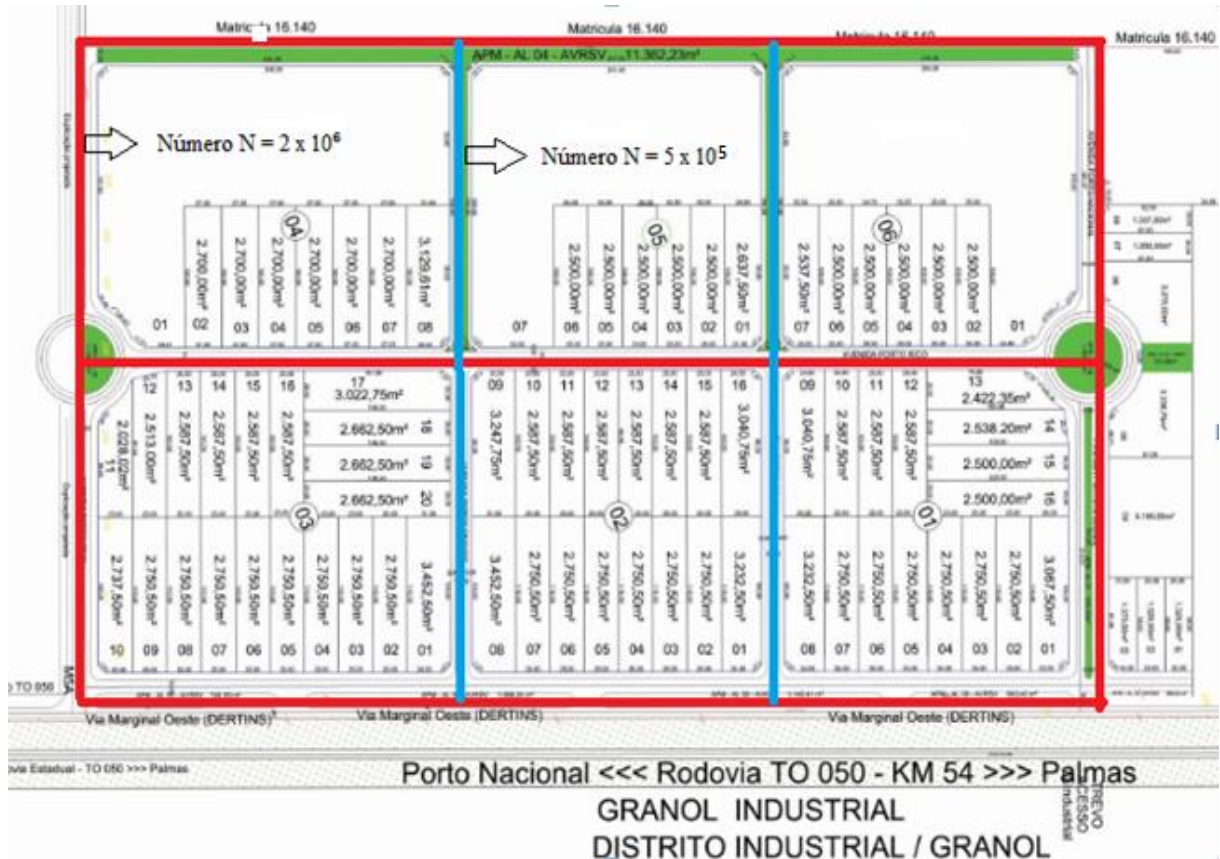
Tabela 9 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,70 x 10 ⁴ a 1,40 x 10 ⁵	10 ⁵
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40x 10 ⁵ a 6,80x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 ⁶ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 ⁷ a 3,3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 ⁷ a 6,7 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 ⁶ (1)	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷

Fonte: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS%20TÉCNICAS%20INSTRUÇÕES%20NOVAS/Pavimentação/IP-02%20%5B1%5D.pdf>

Para o dimensionamento do loteamento Porto Nacional -TO, foram considerados dois padrões de via: via coletora primária, que são as que recebem o fluxo de entrada e saída da quadra (indicada de vermelho) e via local, que são as demais vias (indicada de azul) conforme figura 25. Adotando número “N” de 2 x 10⁶ e 5 x 10⁵ respectivamente para as vias citadas.

Figura 16 – Identificação das Vias

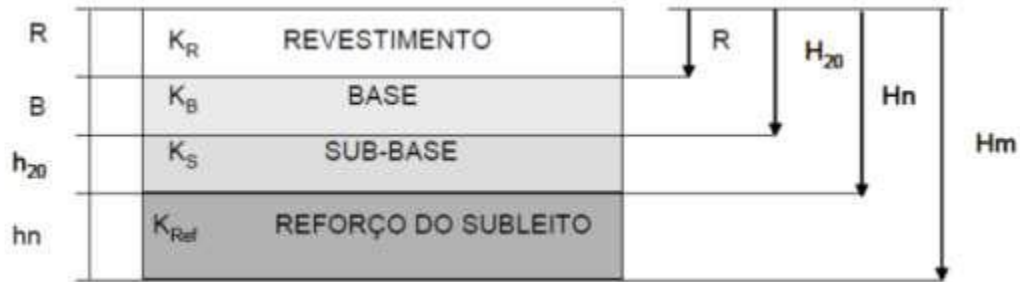


Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Nacional.

Em função dos valores de “N” admite-se os valores para CBR conforme quadro 1 e o tipo de revestimento conforme quadro 3. Serão determinadas as espessuras de cada camada do pavimento, conforme a equação 3:

O Método do DNER realiza o dimensionamento de cima para baixo, primeiro Revestimento (R), depois Base (B), Sub Base (h₂₀) e Reforço (h_n), observando que o subleito não tem espessura. Sua obtenção se dá pela resolução das inequações 1, 2 e 3 :

Figura 17 – Dimensionamento do Pavimento



Fonte: DNIT, 2006.

3.4 QUANTITATIVO DE AGREGADO E LIGANTE

O método direto mais usado é o chamado ensaio de placa ou bandeja, que consiste em espalhar o agregado sobre uma placa plana de área conhecida ($500 \times 500\text{mm}$) de modo a cobrir a área da placa, obtendo-se um mosaico uniforme de agregado sem superposição e sem falhas. Deve-se repetir o processo três vezes (Pinto, 2004).

Calcula-se a taxa de agregado graúdo da primeira camada (T_g) pela seguinte expressão:

(7)

$$T_g = \frac{P_t - P_p}{A}$$

Onde:

P_t = massa da placa com o agregado;

P_p = massa da placa;

A = área da placa.

Conhecida a massa específica aparente solta do agregado em g/cm^3 , calcula-se a mesma taxa em litros/m^2 .

A taxa de agregado miúdo (T_m) é aproximadamente metade da taxa de agregado graúdo no caso do TSD.

A taxa de ligante (T_L), considerando CAP, é determinada por:

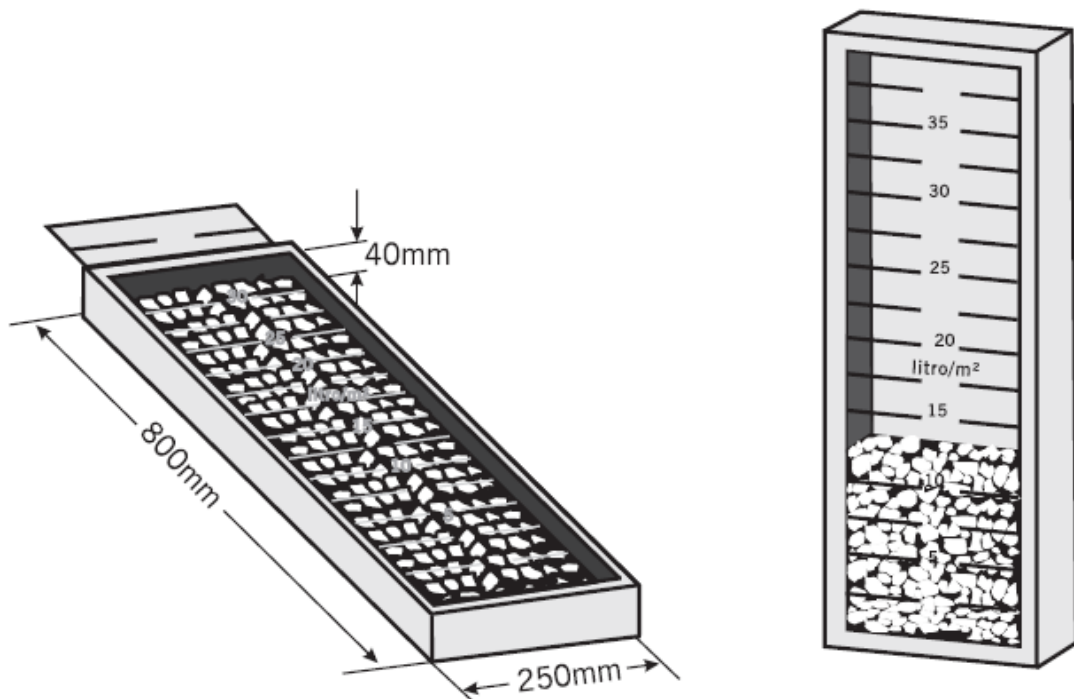
$$T_L = 0,10 \times T_T \quad (8)$$

$$T_T = T_g \left(\frac{l}{m^2} \right) + T_m \left(\frac{l}{m^2} \right) \quad (9)$$

O uso de uma caixa dosadora ($800 \times 250 \times 40\text{mm}$), idealizada por Vaniscotte e Duff (1978a, 1978b), é útil na dosagem do agregado – Figura 18 (Larsen, 1985). Espalha-se o agregado sobre o fundo da caixa, em posição horizontal, de modo a formar um mosaico igual ao que se deseja construir na pista. Coloca-se então a caixa na posição vertical e lê-se a taxa de agregado, em litro/m^2 , na graduação indicada na tampa transparente da caixa (Pinto, 2004).

A mesma caixa também pode ser usada no controle do espalhamento na pista. A dosagem ótima é a que corresponde à ausência de exsudação e o mínimo de rejeição de agregado da última camada do tratamento, o que é possível a partir do uso de um simulador de tráfego de laboratório, onde rodas padronizadas solicitam o tratamento construído em placas experimentais, Bernuncci et al. (2006).

Figura 18 - Caixa dosadora para tratamento superficial (Larsen, 1985)



Fonte: Pavimentação Asfáltica, 2008.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As discussões abaixo sintetizam os resultados deste trabalho de pesquisa, representando as áreas estudadas conforme apresentado na metodologia.

4.1 ENSAIOS LABORATORIAIS

4.1.1 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)

Os limites permitem avaliar a plasticidade dos solos. Essa propriedade dos solos argilosos consiste na maior ou menor capacidade de serem eles moldados sem variação de volume, sob certas condições de umidade (DNIT, 2006).

Quando muito úmido os solos argilosos se comportam como um líquido; quando perde parte de sua água, fica plástico; e quando seco, torna-se quebradiço (Pinto, 2006).

Através da tabulação dos dados o material de subleito ensaiado apresentou LL = 40,5 e LP = 18,9, obteve Índice de Plasticidade IP = 21,6, conforme quadro 4. E material da jazida apresentou LL = 25,2 e LP = 21,1, obteve IP = 4,1, conforme quadro 5.

Quanto as especificação do DNIT ($LL \leq 25\%$ e $IP \leq 6\%$), o material de jazida não se enquadra nessa especificação, por que o LL ficou acima de 25%, portanto deverá ser realizado o ensaio de Equivalente de areia (E.A), que deve resultar $>30\%$

LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	43,60	41,10	44,20	45,50	44,10		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	36,20	32,90	36,00	37,70	36,10		
Massa da Cápsula	(g)	16,60	12,10	15,70	18,90	17,00		
Massa da Água	(g)	7,40	8,20	8,20	7,80	8,00		
Massa Solo Seco	(g)	19,60	20,80	20,30	18,80	19,10		
Teor de Umidade	(%)	37,76	39,42	40,39	41,49	41,88		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	16		

LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	3	4	6	18	24		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	9,30	8,60	10,50	10,10	8,20		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,05	8,35	10,25	9,85	8,00		
Massa da Cápsula	(g)	8,00	7,30	9,10	8,80	7,10		
Massa da Água	(g)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20		
Massa Solo Seco	(g)	1,05	1,05	1,15	1,05	0,90		
Teor de Umidade	(%)	23,81	23,81	21,74	23,81	22,22		

CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (\bar{LP})				
#	\bar{LP}	$0,95\bar{LP}$	$1,05\bar{LP}$	Ñ Serve
1	23,08	21,92	24,23	2
2	22,90	21,75	24,04	

$LL = A \cdot \ln(N^\circ \text{ de Golpes}) + B$	
A	4,352
B	54,473

Limite de Liquidez (LL)	40,5
Limite de Plasticidade (LP)	23,1
Índice de Plasticidade (IP)	17,4

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 5 – Resultado de Ensaio de LL e LP da Jazida

Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	51,80	54,00	49,90	54,30	51,50		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	47,90	48,50	43,80	44,70	42,50		
Massa da Cápsula	(g)	16,60	17,40	17,70	11,80	17,10		
Massa da Água	(g)	3,90	5,50	6,10	9,60	9,00		
Massa Solo Seco	(g)	31,30	31,10	26,10	32,90	25,40		
Teor de Umidade	(%)	12,46	17,68	23,37	29,18	35,43		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	16		

LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	3	4	6	18	24		
Massa Solo Umido + Cápsula	(g)	9,90	9,70	8,70	10,80	9,50		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,70	9,48	8,50	10,45	9,27		
Massa da Cápsula	(g)	8,70	8,40	7,60	8,80	8,20		
Massa da Água	(g)	0,20	0,22	0,20	0,35	0,23		
Massa Solo Seco	(g)	1,00	1,08	0,90	1,65	1,07		
Teor de Umidade	(%)	20,00	20,37	22,22	21,21	21,50		

Teor de Umidade (%)

N° de Golpes

$y = -24,98\ln(x) + 105,61$

#	LP	0,95.LP	1,05.LP	Ñ Serve
1	21,06	20,01	22,11	2
2	21,23	20,17	22,29	

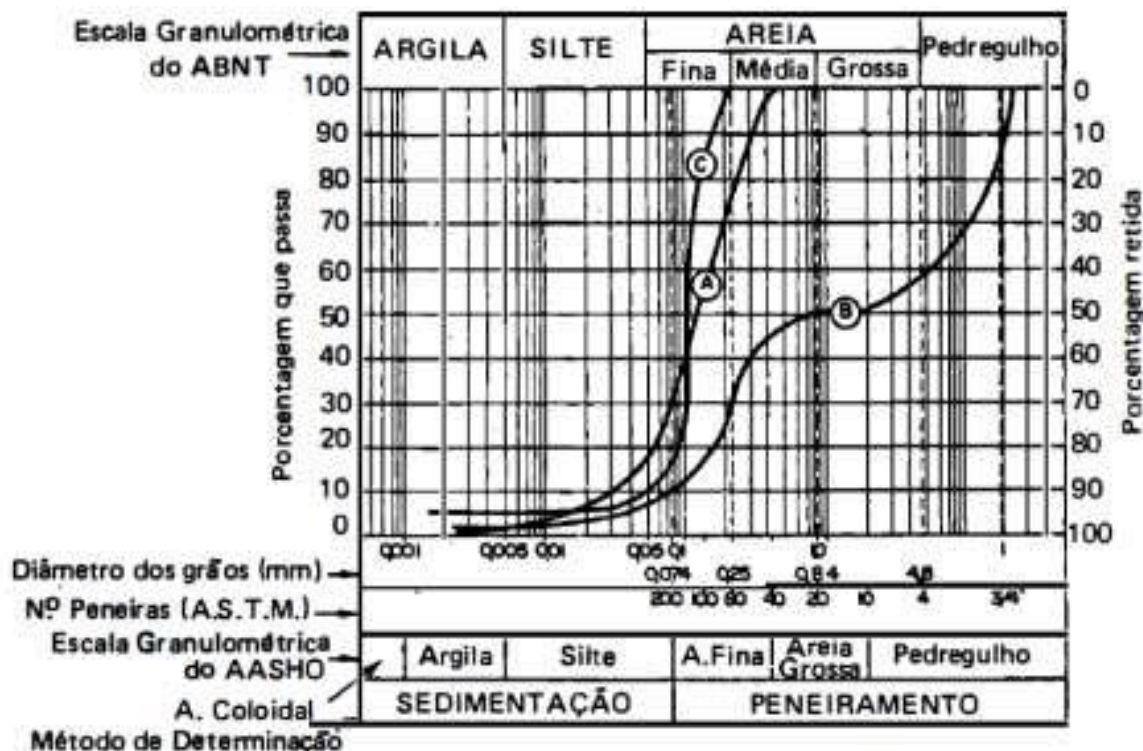
LL = A.ln(N° de Golpes) + B	
A	24,981
B	105,61

Limite de Liquidez (LL)	25,2
Limite de Plasticidade (LP)	21,1
Índice de Plasticidade (IP)	4,1

Fonte: Próprio autor (2017)

4.1.2 Ensaio de Granulometria por Peneiramento

Figura 18 - Nomenclatura das Partículas



Fonte: Caputo (1988), p.25.

Seguindo a classificação da escala granulométrica demonstrada na figura 18, e os valores demonstrados no quadro 6 o solo de subleito apresentou: 9,28% pedregulho (retido peneiras nº 3/8); 31,82% areia grossa (retido peneira nº 4 a 10), 30,2% areia média (retido peneira nº 16 a 50), 11,58% areia fina (retido peneiras nº 100 e 200), 17,12% silte e argila (passante peneira nº 200). Conforme a composição granulométrica observa-se que o solo contém um grande percentual de areia grossa e média.

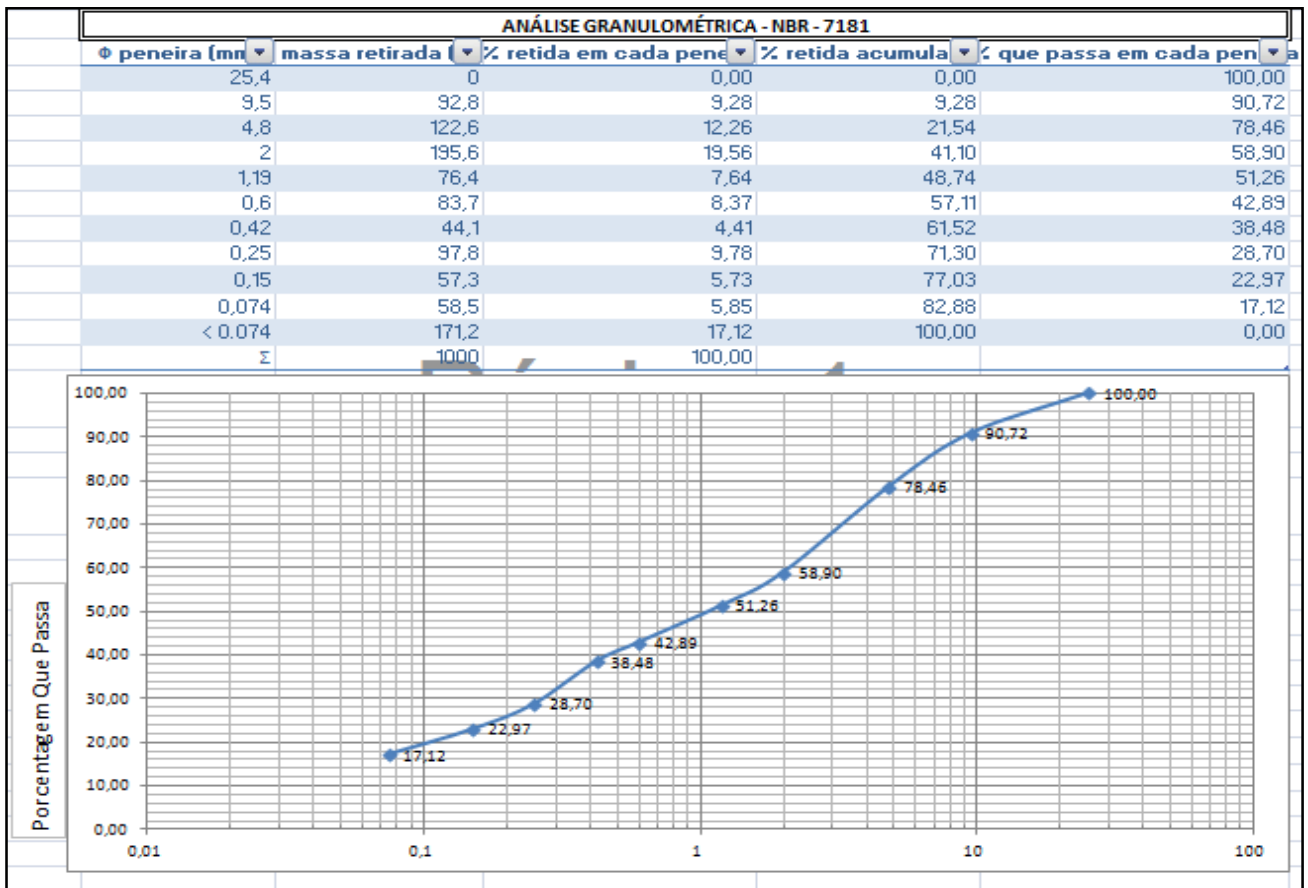
Não foi realizado ensaio por sedimentação para caracterização de percentual de silte e argila separadamente em função de o DNIT preconizar a avaliação nas peneiras nº 4, 10, 40 e 200 para a classificação do material para utilização em pavimentação. Pelo percentual passante nessas peneiras o material de subleito se enquadra nas faixas granulométricas E e F (quadro 6). Nesse critério, sendo admissíveis pelo DNIT até para uso em base granular para projetos que apresentem número $N \leq 5 \times 10^6$. Segundo a forma da curva podemos dizer que enquadra-se como bem graduada.

Observando o planilha 1 (abaixo), nota-se que o material da jazida apresentou a seguinte configuração granulométrica: 5,66% pedregulho (retido peneiras nº 3/8); 48,80% areia

grossa (retido peneira nº 4 a 10); 25,21% areia média (retido peneira nº16 a 50); 20,33% areia fina (retido peneiras nº 100 e 200); 0% silte e argila (passante peneira nº200).

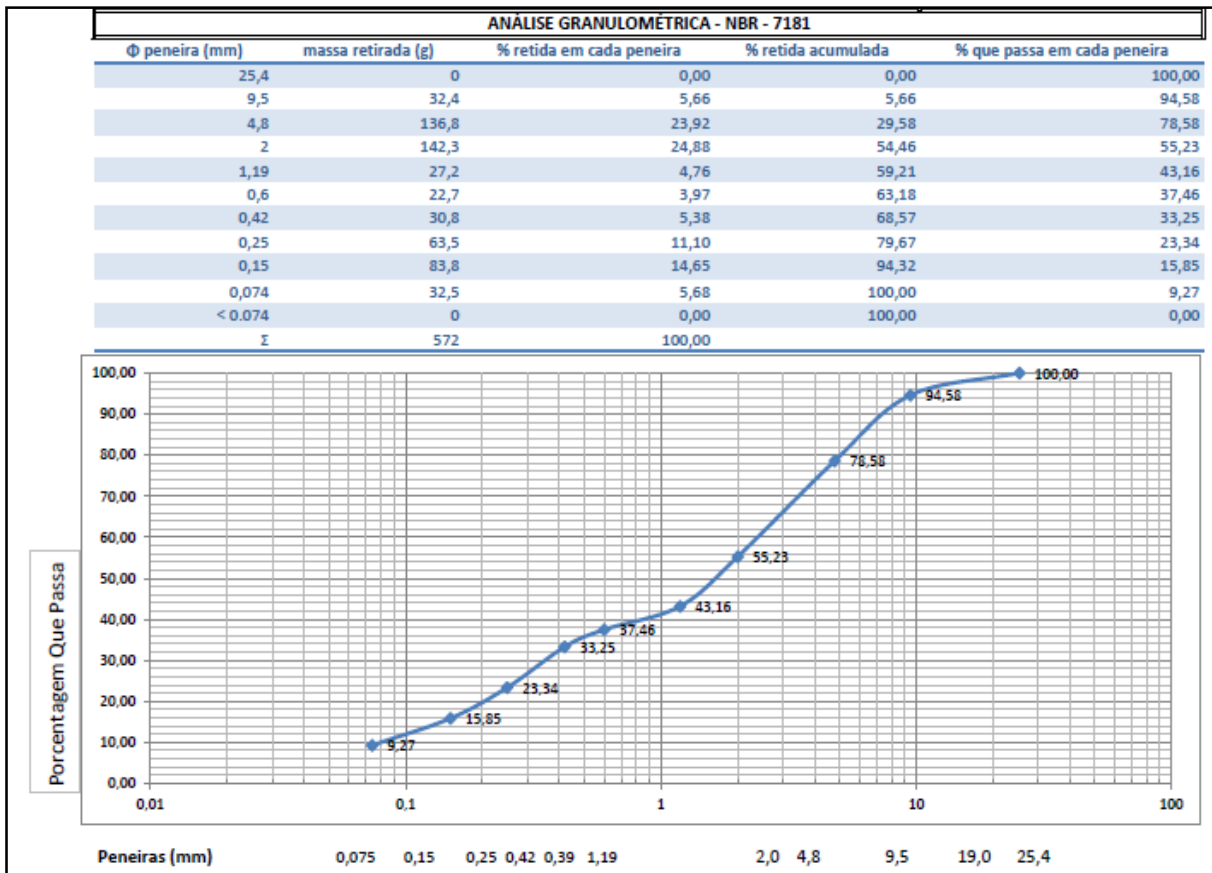
Segundo o percentual passante nas peneiras (planilha 2) o material da jazida se enquadra na faixa D e E portanto, admite-se pelo DNIT a sua utilização em base granular para projetos que apresentem número $N \leq 5 \times 10^6$. Segundo a forma da curva esse material é classificado como bem graduado.

Planilha 1 – Resultado de Ensaio de Granulometria Subleito



Fonte: Autor (2017)

Planilha 2 – Resultado de Ensaio de Granulometria Jazida



Fonte: Autor (2017)

Classificação dos solos (T. R. B)

$IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot b \cdot c + 0,01 \cdot d$ (Equação 10)

$IG = (0,2 \cdot 0) + (0,005 \cdot 0 \cdot 0,5) + (0,01 \cdot 2,12 \cdot 11,6)$

IG Subleito = 0,22

$IG = (0,2 \cdot 0) + (0,005 \cdot 0 \cdot 0) + (0,01 \cdot 0 \cdot 0)$

IG Jazida = 0

Onde:

a = porcentagem de solo passante na peneira 0,075 mm menos 35%. Se o valor de “a” for negativo, adota-se zero, se for superior a 40, adota-se 40.

b = porcentagem de solo passante na peneira 0,075 mm menos 15%. Se o valor de “b” for negativo, adota-se zero, se for superior a 40, adota-se 40.

c = valor do limite de liquidez menos 40%. Se o valor de “c” for negativo, adota-se zero, se for superior a 20, adota-se 20.

d = valor do índice de plasticidade menos 10%. Se o valor de “ d ” for negativo, adota-se zero, se for superior a 20, adota-se 20.

De acordo com a tabela 10, o material de subleito recebe a classificação A – 1 – b, fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia. O baixo índice de grupo demonstra a boa capacidade de suporte do solo, sendo o seu comportamento como subleito considerado excelente a bom.

O material da jazida, por sua vez, recebe a classificação A – 1 – a, fragmento de pedra, pedregulho fino e areia, este material inclui principalmente fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante. Também em acordo com a composição granulométrica que indicou que o solo contém um grande percentual de areia grossa. O índice de grupo = 0 demonstra a maior capacidade de suporte do solo.

4.1.3 Ensaio de Compactação

Os ensaios de compactação realizados foram Proctor Normal para subleito e Proctor Intermediário para jazida, essa diferenciação se dá em função das características granulares do solo e também da preconização do DNIT quanto a energia que deve ser aplicada para materiais de subleito e base. Através dele obteve-se para solo de subleito compactado a curva de compactação, teor de umidade ótima de 12% e a massa específica aparente $1,48 \text{ g/cm}^3$ conforme quadro 8. Enquanto a Jazida apresentou a curva de compactação, indicando teor de umidade ótima de 11,1% e a massa específica aparente $2,054 \text{ g/cm}^3$ conforme quadro 9.

Quadro 8 – Resultado de Ensaio de Compactação Subleito

Quadro 9 – Resultado de Ensaio de Compactação Jazida

COMPACTAÇÃO - NBR-7182											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade											1	2	
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C + S + A	(g)	87,0	87,0	100,2	100,2	90,8	90,8	105,5	105,5	111,3	111,3	582,7	659,7
C + S	(g)	82,1	82,1	93,5	93,5	83,7	83,8	95,7	95,6	99,5	99,5	577,2	650,9
C - Cápsula	(g)	12,0	12,0	17,3	17,3	20,4	20,4	18,7	18,7	17,8	17,8	153,3	102,3
A - Água	(g)	4,9	4,9	6,7	6,7	7,1	7,0	9,8	9,9	11,8	11,8	5,5	8,8
S - Solo	C	70,1	70,1	76,2	76,2	63,3	63,4	77,0	76,9	81,7	81,7	423,9	548,6
w - Umidade	(%)	7,0	7,0	8,8	8,8	11,2	11,0	12,7	12,9	14,4	14,4	1,3	1,6
Umidade Média	(%)	7,0		8,8		11,1		12,8		14,4		1,5	
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Água Adic.	(g)	300	399	498	596	695	M _{úmida} (g)			5000			
% Água Adic.	(%)	6,1	8,1	10,1	12,1	14,1	Nº			Peso			
Umidade Calc.	(%)	7,0	8,8	11,1	12,9	14,4	#			Volume			
Nº do Molde	#	17	8	11	20	16	17			5455			
M + S + A	(g)	9420	9810	10270	9940	9460	8			5450			
M - Molde	(g)	5455	5450	5500	5455	5324	11			5500			
S + A	(g)	3965	4360	4770	4485	4136	20			5455			
γ úmida	(g/cm ³)	1,900	2,088	2,282	2,147	1,982	16			5324			
γ seca	(g/cm ³)	1,776	1,919	2,054	1,902	1,732							
Curva de Compactação											17		
											γ _{s,max}	2,054	
											W _{ótima}	11,1	
Observações Gerais:											Visto		

Fonte: Autor, 2017.

4.1.4 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC (CBR)

Será apresentado através de planilhas e gráficos dois resultados: valor do CBR e medida de variação de volume denominada de expansão do material que é expressa em %. São gerados três gráficos baseados nas amostras com teor de umidade seco, ótima e saturada. A partir da leitura do corpo de prova com umidade ótima nos tempos 2 e 4 minutos, foi feita a média aritmética.

O material de Subleito apresentou ISC de 14,65%, e expansão 0,97, portanto corresponde aos padrões exigidos para subleito que exigem $ISC \geq 2\%$ e $expansão \leq 2\%$.

Quanto ao material da Jazida apresentou ISC de 61,25%, e expansão 0,44, estando adequado a ser utilizado como base granular pois encaixa-se nos padrões exigidos para $ISC \geq 60\%$, para vias com "N" $\leq 5 \times 10^6$ e $expansão \leq 0,5\%$.

Quadro 10 – Resultado de Ensaio de ISC Subleito

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA															
EXPANSÃO															
Molde (Nº)	21			20			25								
Altura do molde (cm)	11,38			11,38			11,38			Anel dinamométrico DIN 001					
		Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Constante do anel 0,10485				
Data	Hora										Relógio comparador EXT 001				
27/09/2004	seg	14:00	5,50	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	Área do pistão (cm²) 19,3221			
28/09/2004	ter	14:00													
29/09/2004	qua	14:00													
30/09/2004	qui	14:00													
01/10/2004	sex	14:00	6,70	1,20	1,05	5,10	1,10	0,97	2,00	0,50	0,44				
Cil.+am. após embebição															
Peso da água absorvida															
PENETRAÇÃO															
Tempo Min.	Penetração mm Pol.		Pressão Padrão	Molde 21				Molde 20				Molde 25			
				Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	Corrig.	ISC %	Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	Corrig.	ISC %	Leitura mm	Pressão Kg/m² Calcul.	Corrig.	ISC %
0,5	0,63	0,025	-	20	2,10			30	3,1			18	1,9		
1,0	1,27	0,050	-	38	3,98			54	5,7			35	3,7		
1,5	1,90	0,075	-	60	6,29			73	7,7			42	4,4		
2,0	2,54	0,100	70,31	76	7,97	8,0	11,3	90	9,4	9,4	13,4	55	5,8	5,8	8,2
3,0	3,81	0,150	-	100	10,49			125	13,1			75	7,9		
4,0	5,08	0,200	105,46	130	13,63	13,6	12,9	160	16,8	16,8	15,9	98	10,3	10,3	9,7
6,0	7,62	0,300	-	160	16,78			220	23,1			120	12,6		
8,0	10,16	0,400	-									140	14,7		
10,0	12,70	0,500	-												

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C

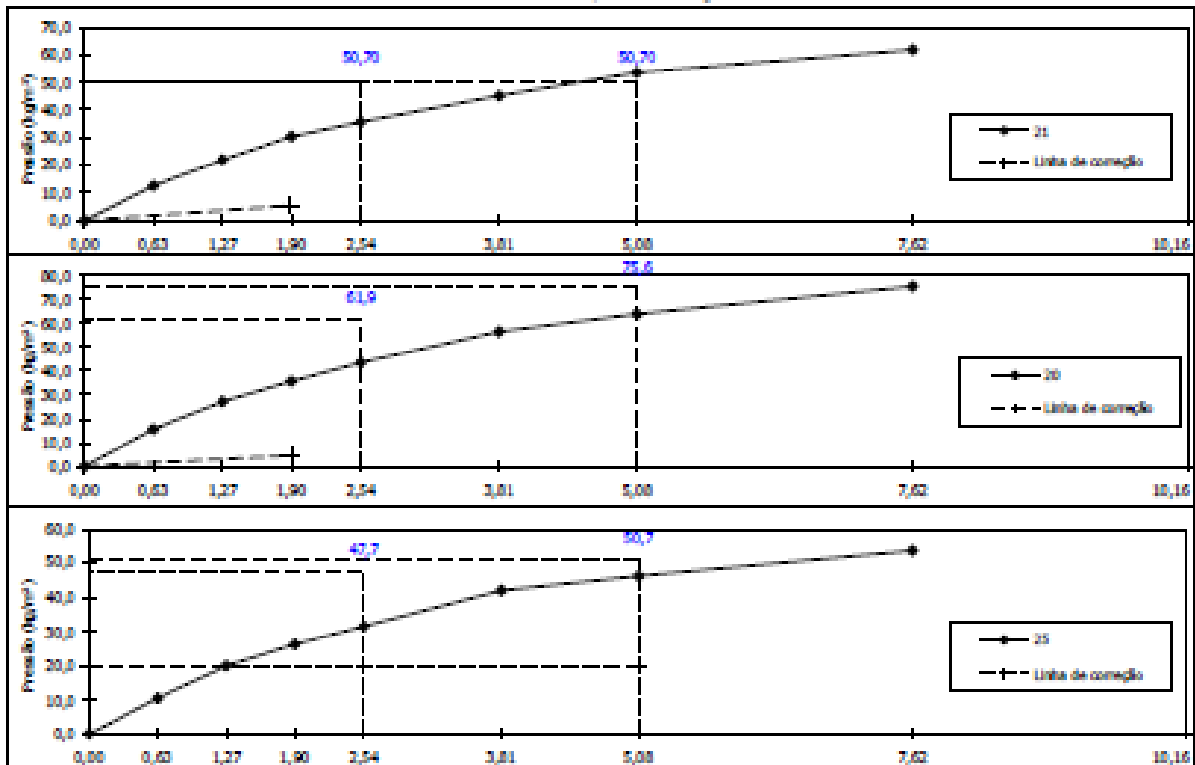
Fonte: Autor, 2017.

Quadro 11 – Resultado de Ensaio de ISC Jazida

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA											
EXPANSÃO											
Molde (MP)		21			20			25			
Altura do molde (cm)		11,38			11,38			11,38			Anel dinamométrico
											DIN 001
		Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Leitura	Difer.	Exp.	Constante do anel
Data	Hora	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	(mm)	(mm)	%	0,10488
27/09/2004	seg	14:00	4,00	0,00	0,00	3,90	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
28/09/2004	ter	14:00									
29/09/2004	qua	14:00									
30/09/2004	qui	14:00									
01/10/2004	sex	14:00	4,80	0,80	0,70	6,00	0,50	0,44	5,40	0,40	0,38
CL+am. após embedação											
Peso da água absorvida											
Relógio comparador											
EXT 001											
Área do pistão (cm²)											
19,3221											

PENETRAÇÃO																
Tempo	Penetração			Peso Pistão	Molde 21				Molde 20				Molde 25			
	mm	Pol.			Leitura	Pressão Kg/cm²	ISC		Leitura	Pressão Kg/cm²	ISC		Leitura	Pressão Kg/cm²	ISC	
Min.	mm	Pol.		mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	
-	-	-	-	-	120	12,58			190	18,7			100	10,5		
0,5	0,63	0,025	-	210	22,02			280	27,3			190	19,9			
1,0	1,27	0,050	-	290	30,41			340	35,6			280	28,2			
1,5	1,90	0,075	-	340	35,65	35,6	50,7	415	43,5	43,5	61,9	300	31,5	31,5	44,7	
2,0	2,54	0,100	70,31	430	45,09			540	56,6			400	41,9			
3,0	3,81	0,150	-	510	53,47	53,5	50,7	610	64,0	64,0	60,6	440	46,1	46,1	43,7	
4,0	5,08	0,200	108,46	590	61,88			720	75,5			510	53,5			
5,0	7,62	0,300	-													
6,0	10,16	0,400	-													
8,0	12,70	0,500	-													
10,0																

Curvas de Pressão / Penetração do I.S.C



Fonte: Autor, 2017.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Tráfego Médio

$$N=5 \times 10^5$$

$$\text{CBR}_{\text{subleito}}=15 \%$$

$$R=2,5\text{cm}$$

Nota: Devido às condições de tráfego leve Revestimento = 2,5 cm

Nota: Para revestimento do tipo tratamento $k_r = 1,20$

Nota: Para solo granular o $K_B = K_S = 1,00$

H_{20} = espessura necessária acima da sub-base, admitindo seu material com $\text{CBR} = 20\%$;

H_n = espessura necessária acima do sub-leito com $\text{CBR} = n$, no caso do projeto $n = 15\%$.

Base

- Utilizando o ábaco de dimensionamento para $N = 5 \times 10^5$ e $\text{CBR} = 20\%$, obtém $H_{20}=24,0\text{cm}$

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

$$2,5 \times 1,20 + B \times 1,0 = 24$$

$$B=20 \text{ cm}$$

Sub-base

- Utilizando o ábaco de dimensionamento para $N = 5 \times 10^5$ e $\text{CBR} = 15\%$ (do Sub-leito), obtém

$$H_{15} = 29 \text{ cm}$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) \geq H_n$$

$$2,5 \times 1,20 + 20 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 = 29 \text{ cm}$$

$$h_{20} = 6\text{cm},$$

$$\text{Adotar } h_{20} = 15 \text{ cm}$$

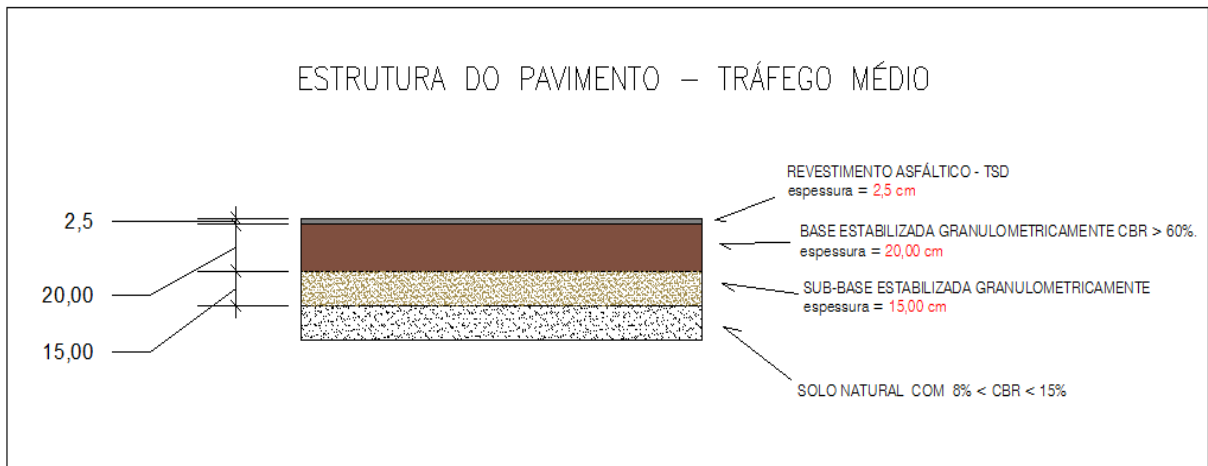
*Dispensa-se o Reforço do Subleito

Revestimento (R) = 2,5 cm (tratamento superficial duplo – TSD)

Base (B) = 20 cm

Sub-base = 15 cm

Espessura Total = 2,5 + 20 + 15 = 37,50 cm

Figura 19 - Camada do pavimento das vias de trafego meio pesado

Fonte: Autor, 2017.

TRÁFEGO MEIO PESADO

$$N = 2 \times 10^6$$

$$CBR_{\text{subleito}} = 15 \%$$

$$R = 5,0 \text{ cm (Tabela-Espessura mínima de revestimento betuminoso)}$$

Nota: Devido às condições de tráfego Revestimento = 5,0 cm

Nota: Para revestimento do tipo tratamento $k_r = 1,20$

Nota: Para solo granular o $K_B = K_S = 1,00$

H_{20} = espessura necessária acima da sub-base, admitindo seu material com $CBR = 20\%$;

H_n = espessura necessária acima do sub-leito com $CBR = n$, no caso do projeto $n = 15\%$.

Base

- Utilizando o ábaco de dimensionamento para $N = 2 \times 10^6$ e $CBR_{\text{sub-base}} = 20\%$, obtém

$$H_{20} = 26,0 \text{ cm}$$

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

$$5,0 \times 1,20 + B \times 1,0 = 26$$

$$B = 20 \text{ cm}$$

Sub-base

- Utilizando o ábaco de dimensionamento para $N = 5 \times 10^6$ e $CBR_{\text{sub-leito}} = 15\%$ (do Sub-leito),

obtém $H_{15} = 31 \text{ cm}$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) \geq H_{15}$$

$$5,0 \times 1,20 + 20 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 = 31 \text{ cm}$$
$$h_{20} = 5 \text{ cm,}$$

Adotar $h_{20} = 15 \text{ cm}$

*Dispensa-se o Reforço do Subleito

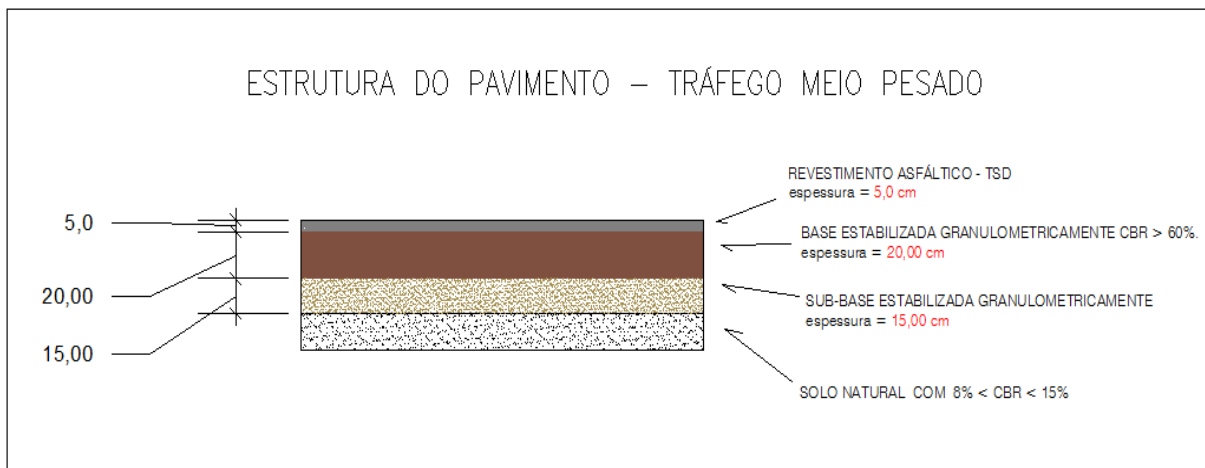
Revestimento (R) = 5,0 cm (tratamento superficial duplo – TSD)

Base (B) = 20 cm

Sub-base = 15 cm

Espessura Total = 5,0 + 20 + 15 = 40,00 cm

Figura 10 - Camada do pavimento das vias de trafego meio pesado



Fonte: Autor, 2017.

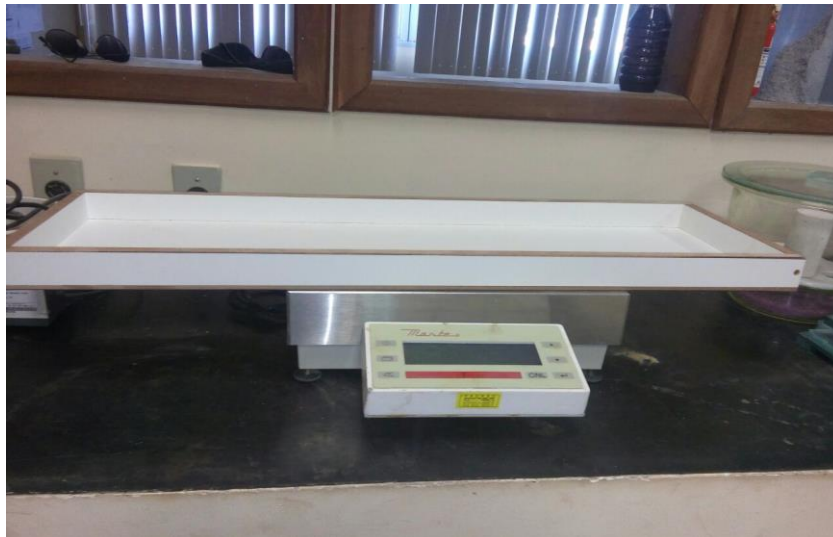
4.3 QUANTITATIVO DE AGREGADO E LIGANTE

- Calcula-se a taxa de agregado graúdo da primeira camada (T_g) pela seguinte expressão:
Obs.: Utilizou Brita 1 para agregado graúdo.

$$T_g = \frac{P_t - P_p}{A}$$

$$T_g = 5,5194 - 2,2015 / 0,2 = \text{Aproximadamente } 16,60 \text{ kg/m}^2$$

Figura 21 - Caixa dosadora para tratamento superficial



Fonte: Autor, 2017.

Figura 22 - Pesagem do agregado graúdo (brita 1)



Fonte: Autor, 2017.

- Conhecida a massa específica aparente solta do agregado em g/cm^3 , calcula-se a mesma taxa em litros/m^2 .

Portanto: $16,6\text{L/m}^2$

- A taxa de agregado miúdo (T_m) é aproximadamente metade da taxa de agregado graúdo no caso do TSD.

Portanto: $8,30\text{ L/m}^2$

- Calcula-se Taxa Total (TT) pela seguinte expressão:

$$T_T = T_g \left(\frac{l}{m^2} \right) + T_m \left(\frac{l}{m^2} \right)$$

$TT = 16,60 + 8,30 = 24,90\text{ L/m}^2$ ou $29,90\text{ kg/m}^2$

- Calcula-se Taxa de Ligante (TL) pela seguinte expressão:

$$T_L = 0,10 \times T_T$$

$TL = 0,10 \times 24,90 = 2,49\text{ L/m}^2$

Quadro 12 - Resumo do quantitativo de agregado e ligante

Taxa de Agregado graúdo	16,60 kg	16,60L
Taxa de Agregado miúdo	8,30 kg	8,30 L
Taxa Total	24,90 kg	24,90 L
Taxa de Ligante	2,49kg	2,49 L

Fonte: Autor, 2017.

Quadro 12 - Resumo total de agregado e ligante

Vias (m^2)	Agregado/Ligante (kg)	Agregado/Ligante (T)
44.809,23	1.115.749,83	1115,74983
8.820,00	219.618,00	219,618

Fonte: Autor, 2017.

5 CONCLUSÃO

Após o término dos estudos propostos por este trabalho, pode-se concluir que, o estudo de subleito propiciou o conhecimento das características do solo sobre o qual o pavimento se apoiará e demonstrou que o solo atende a condição do DNIT de expansão menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$. Pela classificação T. R. B que leva em consideração o LL, IP, IG e ensaio de granulometria, nota-se que o comportamento deste solo como subleito é considerado excelente a bom.

Através dos estudos de ocorrência de materiais para pavimentação pode-se afirmar que o material da jazida adequa-se as características exigidas pelo DNIT para ser utilizado como base granular em rodovias onde o número “N” seja menor que 10^6 , pois encaixa-se na faixa “E” da tabela de faixa granulométrica do DNIT, e apresentou um CBR $\geq 60\%$, Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$.

Para o dimensionamento do pavimento, aplicando-se o Método do DNER, os valores de CBR para subleito e jazida foram respectivamente 14,65 % e 61,25 % e os números $N = 2 \times 10^5$ e 5×10^6 adotados em função da classificação das vias. Obtendo as espessuras das camadas de 2,5 cm de revestimento e 20 cm para base granular, para via coletora primária e 5,0 cm de revestimento e 20 cm para base granular, para via local.

Quanto a estimativa da quantidade de agregado e ligante, os valores da taxa de agregado graúdo e taxa de agregado miúdo foram respectivamente 16,60 kg e 8,30 kg e a taxa total 24,90 kg/m².

REFERÊNCIAS

ALBERNAZ, C.A.V. **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão.** 1997. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ASFÁLTICA, Pavimentação. **Petrobras.** 2008. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2011/08/Pavimentação-Asfáltica-cap5.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2016

Arq. Iberê M. Campos (Org.). **Conheça os três tipos principais de solo: areia, silte e argila.** Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=59>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459/1984 – Solo - Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180/1984 – Solo - Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181/1984 – Solo - Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182/1984 – Solo - Ensaio de Compactação.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/1986 – Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895/1987 – Solo - Índice de Suporte Califórnia.** Rio de Janeiro, 1987.

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

BAPTISTA, C. N. (1978) **Pavimentação.** Tomo I, 3a . edição, Editora Globo, Porto Alegre.

BERNUCCI, L.B. [et al]. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros – 3ªreimp.,** Petrobrás: ABEDA, Rio de Janeiro, RJ (2010).

BERNUNCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2006. 108 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. 6. ed. R: Editora Jc, 1988. 234 p.

CAMPOS, Iberê M.. **Conheça os três tipos principais de solo: areia, silte e argila**. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT26082013225323.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 080/94: **Solos - Análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 082/94: **Solos - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 122/94: **Solos - Determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 129/94: **Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 162/94: **Solos – compactação utilizando amostras trabalhadas**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.274p.

GUIMARÃES NETO, Guilherme Loreto. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**. Monografia (Graduação). Universidade da Amazônia. Belém, PA, 2011. Disponível em: <<http://www.unama.br/graduacao/engenhariacivil/tccs/2011/ESTUDO%20COMPARATIVO%20ENTRE%20A%20PAVIMENTACAO%20FLEXIVEL.pdf>> Acesso em: 15/abr./2016.

PINTO, S.; PREUSSLER, “**Pavimentação Rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**”. Rio de Janeiro: Editora Copiarte. 2002. 259 p.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo, SP: Oficina de Texto 2006.356p.

PINTO, Homero Caputo. **Mecânica dos solos: e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - LivrosTécnicos e Científicos Editora S.a., 1988. 25 p. Volume 1.

PIMENTA, Carlos R. T. e Oliveira, Márcio P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 2ª ed. São Carlos, SP: Editora Rima, 2005.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de Rodagem: projeto geométrico**, São Carlos, 1998;

SENÇO, WLASTERMILER DE – 1929 – **Manual de técnicas de pavimentação** / Wlastermiller de Senço. São Paulo: Pini, 1997.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Pavimentação Rodoviária**, volume 1, Rio de Janeiro, Artes Gráficas Schulze, 1976.

SOUZA, M. L. de. **Pavimentação rodoviária**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed., 1980.

VARGAS, Milton. **Introdução Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw-hill do Brasil, Ltda, 1977. 509 p.