

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA CLAUDIA DAL PRA VASATA
ILDEIVAN DA SILVA JUNIOR**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE
PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL QUANTO A SUA
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA APLICAÇÃO EM
UMA VIA URBANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

ANA CLAUDIA DAL PRA VASATA
ILDEIVAN DA SILVA JUNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO
RÍGIDA E FLEXÍVEL QUANTO A SUA VIABILIDADE TÉCNICA E
ECONÔMICA PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus
Pato Branco.

Orientador: Profº. Msc. Jairo Trombetta.

Co-orientador: Profº Esp. Sérgio Tarsício
Rambo

PATO BRANCO

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL QUANTO A SUA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA URBANA

**ANA CLAUDIA DAL PRA VASATA
E
ILDEIVAN DA SILVA JUNIOR**

Aos 12 dias do mês de março do ano de 2013, às 8h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 14-TCC/2013.

Orientador: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. CLEOVIR JOSÉ MILANI (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a. ELIZÂNGELA M. SILIPRANDI (DACOC / UTFPR-PB)

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a quem esteve sempre ao nosso lado, superando as tristezas e comemorando as alegrias.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pois sem Ele não seria possível vencer os desafios e chegar até aqui.

Agradecemos aos nossos pais, figuras insubstituíveis nesse processo, por cada palavra de amor, de incentivo, por toda a dedicação por nós, por aguentar muitas vezes o nosso mau humor, as nossas alegrias extremas, por entender a distância, por serem nossos portos-seguros, nossas fundações, nossos pilares. Agradecemos por sonharem os nossos sonhos.

Agradecemos aos amigos, estes que estão sempre conosco nos momentos bons e ruins, que nos animam quando a jornada é cansativa. Um agradecimento em especial aos nossos amigos Eduardo Bellei, Thábata Fritzen e Andrey Luttko Gonçalves da Silva por nos ajudarem e por estar sempre a disposição quando era necessário. Como também aos colegas Viviane de Paula Miotto e Osvaldo Junior Cibulski por também colaborarem para a realização deste trabalho.

De imensa gratidão somos aos nossos orientadores, Prof^o. Msc. Jairo Trombetta e Prof^o. Esp. Sérgio Tarsício Rambo, por suas dedicações, pelo conhecimento a nós transmitido, e pela confiança depositada em nós.

Agradecemos à UTFPR – Câmpus Pato Branco e a empresa Terraplenagem Zancanaro por disponibilizar prontamente os equipamentos necessários para a realização dos ensaios.

Agradecemos a Prefeitura Municipal de Pato Branco, por disponibilizar o local de estudo.

Por fim, agradecemos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho fosse concluído com zelo e dedicação.

EPÍGRAFE

“Não diga que a vitória está perdida se é
de batalhas que se vive a vida!”

(Raul Seixas)

RESUMO

Este trabalho analisa o pavimento mais viável, técnica e economicamente, para um determinado trecho de uma Rua localizada na cidade de Pato Branco – PR. Primeiramente realiza-se o levantamento bibliográfico sobre as principais técnicas e fatores que influenciam no dimensionamento do pavimento. Em seguida, apresenta-se o local de estudo, a metodologia aplicada para a coleta dos dados de tráfego, caracterização do solo e os equipamentos utilizados. É feita a análise do tipo de solo predominante no trecho e realiza-se o levantamento topográfico, a fim de obter os dados necessários para o projeto. Aplica-se o método de dimensionamento dos pavimentos rígidos e flexíveis, bem como os materiais constituintes para cada projeto. Realizam-se os orçamentos para cada um dos dimensionamentos. Com os orçamentos disponíveis, efetua-se uma comparação de serviços com o objetivo de identificar suas viabilidades técnica e econômica, propondo o melhor método aplicável para a via em estudo.

Palavras-chave: Pavimento Rígido; Pavimento Flexível; Viabilidade.

ABSTRACT

This research analyzes the more viable paving, technically and economically, for a stretch of a street located in the city of Pato Branco – PR. Initially it's made a literature review on the main techniques and factors that influence the sizing of the paving. In the following presents the study site, the methodology used to collect traffic data, characterization of the soil and the equipment used. Is made the analyze of the predominant soil type in the stretch and carried out the topographic survey, to obtain the required data to the project. Applies the method of sizing the pavings rigid and flexible, well as constituent materials for each project. It's made the budgets for each sizing. With the budgets available, is made a comparison of the services in order to identify their technical and economic feasibility, proposing the best applicable method for route study.

Keywords: Rigid Paving; Flexible Paving; Feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Resposta mecânica do pavimento flexível – pressões concentradas. ...	26
Figura 02 – Resposta mecânica do pavimento rígido – pressões distribuídas.....	26
Figura 03 – Camadas principais do revestimento asfáltico.	27
Figura 04 – Classificação dos pavimentos.	29
Figura 05 – Trecho em estudo.	31
Figura 06 – Rua Tocantis saída para a Rua Artibano Sutile.	32
Figura 07 – Rua Tocantis saída para a Rua Abel Bortot.	32
Figura 08 – Exemplo de curva granulométrica.	37
Figura 09 – Classificação dos solos finos.	38
Figura 10 – Esquema para a classificação pelo sistema rodoviário.	39
Figura 11 – Curva de compactação.	41
Figura 12 – Ensaio de limite de liquidez.....	43
Figura 13 – Amostra preparada para o ensaio de compactação.....	46
Figura 14 – Ensaio de compactação.....	46
Figura 15 – Pesagem conjunto molde e solo.	47
Figura 16 – Extrator de corpo-de-prova.	48
Figura 17 – Preparação das amostras de solo para o ensaio de ISC.	50
Figura 18 – Compactação do solo à umidade ótima.	51
Figura 19 – Solo biselado.....	51
Figura 20 – Prensa para o ensaio de ISC.	53
Figura 21 – Corpos-de-prova sendo escoados para o ensaio de penetração.....	53
Figura 22 – Corpo-de-prova preparado para o ensaio de penetração.	54
Figura 23 – Ensaio de penetração.	54
Figura 24 – Retirada de amostra de solo ponto de número 04.	60
Figura 25 – Retirada de amostra de solo ponto de número 06.	61
Figura 26 – Amostras de solo.....	61
Figura 27 – Ábaco de dimensionamento dos pavimentos flexíveis.	77
Figura 28 – Camadas do pavimento flexível.	78
Figura 29 – Dimensionamento do HM, HN e H20 pelo ábaco de dimensionamento.	79
Figura 30 – Detalhamento do pavimento flexível.	81
Figura 31 – Ábaco de correlação entre CBR (%) e k (kgf/cm ² /cm).....	84
Figura 32 – Aumento dos valores de k em função da sub-base.....	85

Figura 33 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos rodoviários – eixos simples.....	86
Figura 34 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos rodoviários – eixos tandem duplos.....	87
Figura 35 – Detalhamento do pavimento rígido.....	88
Figura 36 – Ficha 01 de do levantamento do tráfego.....	101
Figura 37 – Ficha 02 de do levantamento do tráfego.....	102
Figura 38 – Ficha 03 de do levantamento do tráfego.....	103
Figura 39 – Ficha 04 de do levantamento do tráfego.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Relação de peneiras para a análise granulométrica.....	23
Tabela 02 – Relação aproximada entre o tipo de solo do subleito e o coeficiente de recalque	57
Tabela 03 – Granulometria para base granular.....	58
Tabela 04 – Cotas das amostras de solo	59
Tabela 05 – Classificação do solo.....	62
Tabela 06 – Contagem do tráfego.....	63
Tabela 07 – Teor de umidade	64
Tabela 08 – Limite de Plasticidade.....	64
Tabela 09 – Limite de Liquidez.....	65
Tabela 10 – Índice de Plasticidade.....	66
Tabela 11 – Índice de Grupo (IG).....	67
Tabela 12 – Valores de ISIG em função de IG.....	68
Tabela 13 – Teor de umidade ótimo e massa específica aparente máxima	69
Tabela 14: Ensaio de expansão	69
Tabela 15 – Ensaio de penetração – amostras 1 à 8	70
Tabela 16 – Ensaio de penetração – Amostras 9 à 16.....	71
Tabela 17 – Valores do Índice de Suporte Califórnia	72
Tabela 18 – Valores de Σ equivalência de operações e Σ VMD (veic/dia)	76
Tabela 19 – Valores para cálculo de FE	76
Tabela 20 – Tensões e número de repetições	81
Tabela 21 – Correlação CBR (%) x k (kgf/cm ² /cm)	83
Tabela 22 – Cálculo de consumo de resistência à fadiga (CRF).....	88
Tabela 23 – Orçamento pavimento flexível	89
Tabela 24 – Orçamento pavimento rígido	92

LISTA DE SIGLAS

Geipot	Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes
Dnit	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
CMT	Capacidade Máxima de Tração
FHP	Fator Horário de Pico
PBT	Peso Bruto Total
VPN%	Velocidade Percentual N%
VHP	Volume Horário de Projeto
VMD	Volume Médio Diário
CBR	California Bearing Ratio
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LP	Limite de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
IP	Índice de Plasticidade
PR	Paraná
Sicro	Sistema de Custos Rodoviários
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VP	Veículos Leves
CO	Veículos Comerciais
O	Veículos Comerciais Rígidos
SR	Veículos Comerciais Articulados
RE	Veículos Comerciais com Reboque
C	Veículo Simples, ou Veículo Trator com Reboque
S	Veículo Trator com Semi-Reboque
I	Veículo Trator com Semi-Reboque, Entre Eixos Maior que 2,40m
J	Veículo Trator com Semi-Reboque, com Eixo Isolado e Um Eixo Tandem
D	Combinação Dotada de Duas Articulações
T	Combinação Dotada de Três Articulações
X	Veículos Especiais
B	Onibus
IG	Índice de Grupo
IS	Índice de Suporte
ISIG	Índice de Suporte Relativo ao Índice de Grupo
ISCBR	Índice de Suporte Relativo ao California Bearing Ratio
PCA	Portland Cement Association
MR	Modulo de Ruptura
CRF	Consumo de Resistencia a Fadiga
TCPO	Tabela de Composição de Preços para Orçamentos
Sinapi	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
BDI	Beneficio e Despesas Indiretas
Selic	Sistema Especial de Liquidação de Custódia
BCB	Banco Central do Brasil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1 PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS	17
2.1.1 Classificação das Vias.....	17
2.1.2 Caracterização do Tráfego	17
2.1.3 Caracterização do Solo	20
2.1.3.1 Textura ou granulometria	21
2.1.3.2 Umidade do solo	23
2.1.3.3 Massa específica aparente máxima e teor de umidade ótimo.....	24
2.1.3.4 Método da resistência ou método do C.B.R.	24
2.1.3.5 Limite de Plasticidade (LP) e Limite de Liquidez (LL).....	25
2.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS.....	25
2.2.1 Camadas do Pavimento	26
2.2.2 Pavimento Flexível	29
2.2.3 Pavimento Rígido	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	31
3.2 METODOLOGIA DE PESQUISA	32
3.2.1 Levantamento Topográfico.....	33
3.2.2 Coleta de Dados de Tráfego	33
3.2.2.1 Determinação do tráfego	35
3.2.3 Ensaio de Caracterização do Solo	36
3.2.3.1 Textura e granulometria	37
3.2.3.2 Determinação do teor de umidade	39
3.2.3.3 Determinação da massa específica aparente máxima e do teor de umidade ótima	40
3.2.3.4 Limite de Plasticidade.....	41
3.2.3.5 Limite de Liquidez.....	42
3.2.3.6 Índice de Plasticidade.....	44

3.2.3.7 Índice de grupo.....	44
3.2.4 Ensaio de Compactação	45
3.2.5 Índice de Suporte Califórnia – ISC	48
3.3 DIMENSIONAMENTOS DOS PAVIMENTOS	55
3.3.1 Dimensionamento Pavimento Rígido	55
3.3.1.1 Características do subleito	56
3.3.2 Dimensionamento Pavimento Flexível	57
4 RESULTADOS	59
4.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	59
4.2 CLASSIFICAÇÃO DA VIA DE ESTUDO	59
4.3 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO.....	59
4.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	62
4.5 LEVANTAMENTO DO TRÁFEGO	62
4.6 TEOR DE UMIDADE	63
4.7 LIMITE DE PLASTICIDADE	64
4.8 LIMITE DE LIQUIDEZ	65
4.9 ÍNDICE DE PLASTICIDADE	66
4.10 ÍNDICE DE GRUPO (IG).....	67
4.11 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO.....	68
4.12 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	69
4.13 ÍNDICE DE SUPORTE (IS)	73
4.14 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS.....	73
4.14.1 Pavimento Flexível	73
4.14.2 Pavimento Rígido	81
4.15 ORÇAMENTO	88
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICES.....	101
APÊNDICE A – Fichas do Levantamento do Tráfego	101

1 INTRODUÇÃO

O ato de caminhar é o meio mais antigo e mais rudimentar de locomoção. Com o tempo o homem foi aprimorando os meios de transporte e com isso a necessidade de uma via na qual pudesse trafegar (FARIA, 2003).

As primeiras estradas surgiram a partir de trilhas, que eram utilizadas pelos povos pré-históricos e se localizavam no sudoeste da Ásia. Durante a idade do bronze, tendo em vista a evolução da agricultura e do comércio, por volta de 700 a.C., os mesopotâmios criaram uma rota que unia o Império da Babilônia ao Egito. Essa rota era pavimentada com pedras e ladrilhos unidos com argamassa betuminosa, que ligava as cidades de Assur e Babilônia. Embora essa rota não fosse tão usada para fins comerciais, serviu como inspiração para o sistema rodoviário romano, onde se caracteriza por ser o auge da engenharia rodoviária. Com os romanos as estradas tinham além da função de conquistar territórios a de também preservá-los, sendo construídos cerca de 85.000 Km de estradas que ligavam a capital às cidades mais distantes do Império, estradas as quais foram construídas com diferentes técnicas de povos como os cartagineses, fenícios, egípcios e os etruscos do norte da Itália (RODOVIAS..., 1999).

O extinto Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes – Geipot (1965), afirma que:

"Em uma apreciação geral, pode-se afirmar que a prática do planejamento de transportes no Brasil não é tão nova assim. Desde o Império, a adoção de planos de viação foi preocupação de muitas personalidades, embora a história tivesse de esperar até o início da República para que o Estado brasileiro tomasse alguma iniciativa com vistas a preparar planos. Após a frustração com relação ao primeiro plano geral, fruto de uma comissão composta em 1890, continuou-se a adotar programas independentes para cada modal, e somente em 1934 o país adotou formalmente um Plano Geral de Viação. A prática de planejamento, mais sistemática e recorrente, iria, contudo, começar após a Segunda Guerra e se consolidar, definitivamente, no Regime Militar, onde gozou de alguma estabilidade institucional."

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, como conforto, economia e segurança. 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 (BERNUCCI et al., 2010).

Em meio a crescente evolução tecnológica, há grande especulação sobre qual o método construtivo de pavimentação que apresenta a melhor relação custo benefício nos tempos atuais. Dentre essas se destacam algumas questões, tais como a vida útil, a resistência, o consumo de material, o tempo e a complexidade de execução, o custo, os impactos ambientais e sociais, e o principal, a segurança do pavimento durante a sua utilização. Em função disto, neste trabalho serão analisadas estas questões para propor o método, rígido ou flexível, mais viável que se aplique na via determinada.

Primeiramente foi realizado um estudo teórico, a fim de aprofundar os conhecimentos das características de cada pavimento, em seguida foi escolhida a via para a aplicação do estudo comparativo, assim, realizou-se o levantamento topográfico desta, bem como os ensaios requisitados em normas específicas. Por fim, os resultados obtidos em prática foram analisados e definiu-se o melhor processo construtivo para a situação estudada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as alternativas de pavimentação pelos métodos rígido ou flexível, para a pavimentação do trecho da Rua Tocantins, situado entre as Ruas Artibano Sutile no bairro São Francisco e Abel Bortot no bairro São Luiz, no município de Pato Branco – PR.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estimar o tráfego de veículos no trecho;
- Caracterizar o tipo de solo no trecho considerado a fim de obter dados para o projeto;
- Aplicar o método de dimensionamento dos pavimentos rígido e flexível para a via;
- Realizar o orçamento dos pavimentos;

- Comparar os projetos quanto a sua viabilidade técnica e econômica sem considerar a manutenção da via.

1.2 JUSTIFICATIVA

As principais causas que geram problemas em estradas de terras são a falta de capacidade do subleito, o mau desempenho da superfície de rolamento, a deficiência do sistema de drenagem. Com isso geram problemas como ondulações, rodeiros, atoleiros, excesso de pó, pista com baixa aderência, 'costelas de vacas', segregação lateral, buracos e erosões (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., 1988).

Os problemas citados anteriormente estão diretamente relacionados com o trecho em estudo, uma vez que a via liga o Bairro São Francisco ao centro da cidade. Pelo fato da mesma não ser pavimentada, os usuários potenciais tendem a encontrar rotas alternativas para que não tenham transtornos durante o trajeto.

Entretanto a rota alternativa é mais movimentada e distante. Obrigando os usuários potenciais a trafegarem em um trecho da BR 158 e num trecho da Avenida Tupi, principal acesso da cidade onde há sobrecarga de tráfego. Uma forma de solucionar os problemas decorrentes da pista não pavimentada e da sobrecarga de tráfego é a pavimentação do trecho de ligação do Bairro São Francisco ao Centro da cidade.

Para a escolha do melhor método de execução do pavimento deve-se conhecer as vantagens e desvantagens de cada processo executivo, para que isso se torne possível, há a necessidade da elaboração de ambos os projetos para se analisar as vantagens técnica, ecológica, econômica e socialmente, e assim considerar os meios mais favoráveis para a construção da via pavimentada.

Há o interesse por parte do poder público que o trecho estudado seja pavimentado, porém não existe nenhuma análise quanto ao processo mais recomendado para a execução deste serviço.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS

Tem-se por pavimento uma estrutura de múltiplas camadas de determinadas espessuras, construída sobre uma obra de terraplanagem finalizada, com finalidade técnica e econômica, além de resistir aos esforços provenientes do clima e principalmente do tráfego, a fim de proporcionar conforto aos usuários, melhoria das condições de rolamento, economia e segurança (BERNUCCI et al., 2010).

2.1.1 Classificação das Vias

A função de uma via urbana é atender à demanda do tráfego local e de propriedades ou instalações lindeiras, além de proporcionar fluidez no deslocamento de uma atividade ou uso do solo, como trabalho, compras, escola, entre outros (ALBANO, 2013).

Para Balbo (2007), as vias podem ser classificadas como:

- Vias expressas – primárias e secundárias: fazem ligações rápidas em escala metropolitana e há trânsito de passagem exclusivo;
- Vias arteriais – primárias e secundárias: possuem trânsito de passagem permanente e as ligações são em escala metropolitana e em escalas de zonas;
- Vias coletoras – primárias e secundárias: tem ligações em escala de bairros e trânsito de passagem local equilibrado;
- Vias locais – residencial e outras: possuem trânsito local predominante e a ligação em escala de unidade de vizinhança.

Com base nesses dados é possível classificar o trecho em estudo, como uma via urbana coletora, devido a esta, estar ligando o Bairro São Francisco ao Bairro São Luiz.

2.1.2 Caracterização do Tráfego

O tráfego está diretamente relacionado com as condições da via, de modo que estas devem ser dimensionadas a fim de atender as necessidades de uso.

Através do sistema de coleta de dados é possível obter e relacionar características referentes ao tráfego, que são: motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente. O levantamento desses dados permite conhecer o número de veículos que circula pela via, bem como suas velocidades, horários de maior solicitação e tipos de veículos, contribuindo diretamente para a escolha do tipo de pavimento a ser utilizado e influenciando massivamente o dimensionamento do mesmo (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT, 2006).

Segundo Goldner (2008), o tráfego é composto por diferentes tipos de veículos que vão desde automóveis, caminhões, ônibus, motos entre outros. O volume de tráfego varia em função dos números de veículos que passam numa determinada faixa da via em uma unidade de tempo, podendo variar ao longo do ano, da semana, do dia ou dentro da hora.

Para a melhor uniformização dos termos adotou-se os termos utilizados pelo Manual de Estudo de Tráfego (2006), do DNIT, apresentados a seguir:

- Capacidade: número máximo de veículos que poderá passar por um determinado trecho de uma faixa ou pista durante o período de tempo determinado, sob condições reais que predominam na via e no tráfego;
- Capacidade Máxima de Tração (CMT): máximo peso que a unidade tratora é capaz de tracionar, indicado pelo fabricante;
- Densidade: número de veículos por unidade de comprimento da via;
- Espaçamento: distância entre dois veículos sucessivos, medida entre pontos de referência comuns;
- Fator Horário de Pico (FHP): é o volume da hora de pico do período de tempo considerado, dividido pelo quádruplo do volume do período de quinze minutos da hora de pico com maior fluxo de tráfego;
- Intervalo de Tempo: tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto;
- Lotação: carga útil máxima incluindo condutor e os passageiros que o veículo pode transportar;
- Peso Bruto Total (PBT): peso máximo que o veículo pode transmitir ao pavimento;

- Tandem: dois ou mais eixos de um veículo que constituam um conjunto integrado de suspensão, podendo quaisquer deles ser ou não motriz;
- Tara: peso próprio do veículo;
- Tempo de Viagem: período de tempo durante o qual o veículo percorre determinado trecho da via, incluindo os tempos de parada;
- Velocidade: relação entre o espaço percorrido por um veículo e o tempo gasto para percorrê-lo;
- Velocidade de Projeto: velocidade selecionada para fins de projeto, da qual se derivam os valores mínimos de determinadas características físicas diretamente vinculadas à operação e ao movimento dos veículos;
- Velocidade Instantânea: velocidade de um veículo em um instante determinado;
- Velocidade de Fluxo Livre: velocidade média dos veículos de uma determinada via, quando não são impostas restrições quanto a velocidade e nem por regulamentação de trânsito;
- Velocidade Média de Percurso: velocidade de um trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto para percorrê-lo;
- Velocidade Média no Tempo: média aritmética das velocidades pontuais de todos os veículos que passam por um determinado ponto da via, durante intervalos de tempo finitos;
- Velocidade Média de Viagem: velocidade no trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo;
- Velocidade de Operação: mais alta velocidade com que o veículo pode percorrer uma dada via atendendo as limitações impostas pelo tráfego. Não pode exceder a velocidade de projeto;
- Velocidade Percentual N% (VPN%): velocidade abaixo da qual trafegam N% dos veículos;
- Velocidade Pontual: velocidade instantânea de um veículo quando passa por um determinado trecho da via;

- Volume Horário de Projeto (VHP): fluxo de veículos que deve ser atendido em condições adequadas de segurança e conforto pelo projeto da via em questão;
- Volume Médio Diário (VMD): número médio de veículos que percorre uma seção de uma rodovia, por dia, durante certo período de tempo;
- Volume de Tráfego: número de veículos que passam por uma seção de uma via, durante uma unidade de tempo.

Para obtenção dos elementos para dimensionamento do projeto, e análise da viabilidade econômica do projeto é necessário conhecer a projeção dos volumes de tráfego. As vias devem ser projetadas para que proporcionem um nível de serviço aceitável durante sua vida útil, e para isso deve ser determinado com maior grau de exatidão possível qual será o volume e a distribuição do tráfego para aquele período (BAPTISTA, 1978).

Os aspectos fundamentais que devem ser considerados na projeção de tráfego são (DNIT, 2006):

- Capacidade de produção e atração de viagens das diversas zonas de tráfego;
- Distribuição das viagens geradas entre as zonas;
- Variações na geração (produção e atração) e distribuição de viagens devido às mudanças demográficas, econômicas, dos meios de transporte da região.

2.1.3 Caracterização do Solo

O conhecimento das características do solo é relevante, pois este basicamente terá função de fundação do pavimento, características estas que são: textura ou granulometria, teor de umidade, densidade máxima, teor de umidade ótimo, índice de suporte, limite de plasticidade e limite de liquidez.

Solo é o produto resultante da decomposição da crosta terrestre e seus principais fatores de formação são (BAPTISTA, 1978):

- Matéria de origem, ou rocha mãe;
- Água;
- Topografia do local;

- Clima do local;
- Organismos vivos.

Segundo Senço (2007), “solo é uma estrutura natural, de natureza solta e removível e de espessura variável, resultante da transformação de uma rocha mãe, pela influencia de diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos”.

2.1.3.1 Textura ou granulometria

Para Baptista (1978), a granulometria independe da umidade, composição mineralógica, densidade e forma dos grãos, sendo interessante neste estudo apenas o tamanho das partículas, e a distribuição em porcentagem do tamanho em massa de solo. Esta análise determina a graduação das partículas constituintes do solo, e é feita em amostras secas ao ar.

A análise é feita por meio de peneiras standardizadas, chamadas *Tyler*, sendo que estas apresentam malhas quadradas, conforme a tabela 01. O resultado desta análise é expresso em porcentagens do peso total da amostra, distribuídas em faixas de ordem de tamanho das partículas de solo (BAPTISTA, 1978).

Ainda Baptista (1978), afirma que o material retido acima da peneira nº 10 constitui-se o material grosso; o que fica retido da peneira nº 10 à nº 200 é o material fino; já o retido abaixo da peneira nº 200 é o material semi-fino (siltes, argilas, areia fina).

A mecânica dos solos divide-se em duas grandes classes (BAPTISTA, 1978):

- Solos coesivos (argilas);
- Solos não coesivos ou incoerentes (areias).

Na natureza não existem solos exclusivamente argilosos ou arenosos, desta forma são classificados de acordo com suas características físicas, químicas e geológicas.

De acordo com o DNIT (2006), os grãos apresentam a seguinte classificação para efeito de terminologia:

- Pedregulhos: solos cujas partículas ou grãos minerais tem diâmetro aparente máximo, na maioria superior a 2 mm e inferior a 76 mm;

- Areias: solos cujas partículas ou grãos minerais tem diâmetro aparente máximo, na maioria superior a 0,075 mm e inferior a 2 mm.

De acordo com a textura podem ser subdivididas em:

- Areia grossa: os grãos em sua maioria apresentam diâmetro maior que 0,42 mm e menor que 2 mm;
- Areia fina: os grãos apresentam diâmetro maior que 0,075 mm e menor que 0,42 mm.

De acordo com a compactidade as areias podem ser:

- Fofas ou soltas: quando o grau de compactidade esta entre 0 e 1/3;
 - Medianamente compactas: quando o grau de compactidade esta entre 1/3 e 2/3;
 - Compactas: quando o grau de compactidade esta entre 2/3 e 1.
- Siltes: solos cujas partículas têm diâmetro aparente máximo maior que 0,005 mm e menor que 0,05 mm, temos coesão suficiente para, quando secas, formarem torrões que desagregam facilmente por pressão dos dedos. O silte é física e quimicamente semelhante à areia, sendo a principal diferença, os diâmetros menores;
 - Argilas: solos cujas partículas têm diâmetro aparente menor que 0,005 mm, apresentando plasticidade e consistência em seu estado de umidade natural, quando secas tem coesão suficiente para formar torrões difíceis de serem desagregados pela pressão dos dedos, quando úmidas podem ser facilmente moldadas. De acordo com a consistência podem ser classificadas em:
 - Muito moles: cujo índice de consistência é menor que zero;
 - Moles: cujo índice de consistência esta entre 0 e 0,5;
 - Médias: cujo índice de consistência esta entre 0,5 e 0,75;
 - Rijas: cujo índice de consistência esta entre 0,75 e 1;

Como dito anteriormente nenhum solo é puro, assim, os tipo de solos apresentados são encontrados misturados na natureza, sendo denominados pelo nome do qual as características são predominantes.

Tabela 01 – Relação de peneiras para a análise granulométrica

Designação Americana (pol)	Designação Brasileira (mm)
3"	76,2
2 ½"	63,5
2"	50,8
1 ½"	38,1
1"	25,4
¾"	19,1
½"	12,7
3/8"	9,52
Nº 3	6,68
Nº 4	4,8
Nº 8	2,4
Nº 10	2,0
Nº 16	1,2
Nº 30	0,6
Nº 40	0,42
Nº 50	0,3
Nº 100	0,15
Nº 200	0,075

Fonte: BAPTISTA, 1978.

2.1.3.2 Umidade do solo

A quantidade de água contida em certa massa de solo é dita teor de umidade e expressa em porcentagem. A água encontrada nos solos pode ser de três tipos (BAPTISTA, 1978):

- Água livre: é a que circula livremente através dos poros do solo, sujeita a ação da gravidade, pode ser drenada por sistema de drenagem conveniente;
- Água higroscópica ou adesiva: é a que se encontra no solo quando seco ao ar livre;
- Água capilar: é a retida no solo pelo efeito da tensão superficial, circula nos solos com grãos muito finos, onde existem canais com diâmetro capilar entre os grãos, muitas vezes contrariando a ação da gravidade. Não pode ser eliminada por drenagem simples, a maneira mais eficiente de sanar este tipo de umidade e interromper a fonte de água que alimenta a capilaridade.

2.1.3.3 Massa específica aparente máxima e teor de umidade ótimo

Massa específica aparente de um solo é a massa de uma amostra dividida pelo seu volume, sujeito a uma determinada compactação, no entanto, esta denominação embora clássica na Mecânica dos Solos, é imprópria, sendo o correto peso específico. Na massa específica aparente influenciam a compactação e a umidade do solo, desta forma para cada compactação e teor de umidade diferentes, tem-se uma massa específica aparente (BAPTISTA, 1978).

2.1.3.4 Método da resistência ou método do C.B.R.

O *California Bearing Ratio* (C.B.R.), ou traduzindo Índice de Suporte Califórnia (I.S.C.), é uma das características do solo mais relevantes para avaliar o comportamento, tanto quanto camada de fundação quanto a camada componente do pavimento.

Para Senço (2007), o C.B.R. pode ser definido como “a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão.”

A espessura do material granular sobre o subleito é determinada em função do C.B.R. desse, e também do tráfego esperado. O dimensionamento do reforço se necessário, para um pavimento pode ser efetuado por meio do critério do C.B.R., considerando-se as seguintes condicionantes (BALBO, 2007):

- Conhecimento dos materiais componentes do pavimento e de suas espessuras (avaliação estrutural);
- Conhecimento das condições atuais de trabalho, em termos de C.B.R. do subleito, do reforço e da sub-base do pavimento (determinação de parâmetros de resistência e elasticidade atuais);
- Redefinição dos coeficientes de equivalência estrutural das camadas componentes do pavimento em função das atuais condições encontradas para as camadas granulares e para as misturas asfálticas e cimentadas existentes.

O C.B.R. é um método empírico, porém com fundamento, devido às inúmeras experiências tanto de campo quanto de laboratório, que comprovam a sua eficiência, e por isso é o método mais empregado atualmente (BAPTISTA, 1978).

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

Na determinação do Limite de Plasticidade (LP) e o Limite de Liquidez (LL), é analisado o comportamento do solo quanto a sua plasticidade e liquidez quando na presença de certas quantidades de água (BAPTISTA, 1978).

Ainda para Baptista (1978), solos constituídos de areia, que não tem coesão própria, o LL corresponde à quantidade de água capaz de lubrificar a superfície das partículas, fazendo com que fluam; já no caso de solos argilosos, devido à coesão, o LL corresponde ao teor de umidade capaz de fazer fluir as partículas constituintes do solo.

Para o Limite de plasticidade, pode-se interpretar como a quantidade de água necessária para que o solo deixe de ter o comportamento semi-sólido, e passe a ter comportamento plástico, mostrando assim o quão coeso é o solo (CAPUTO, 1988).

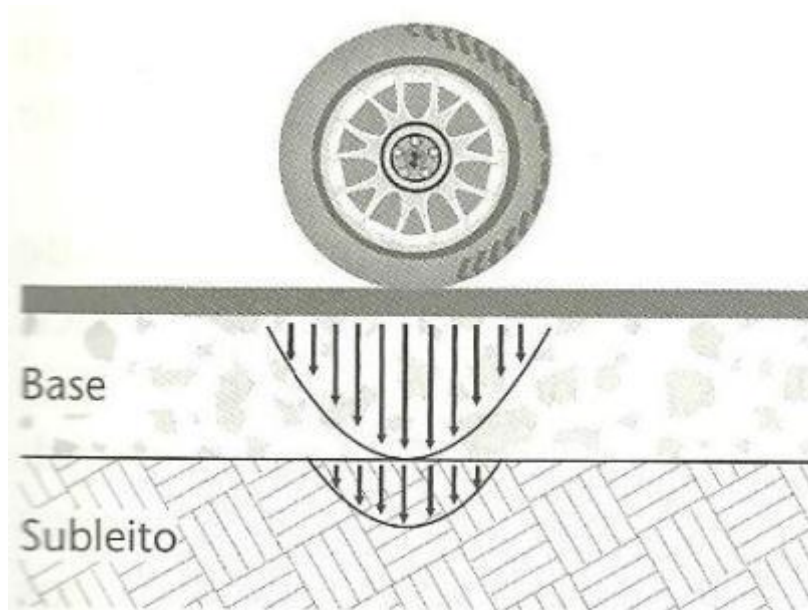
2.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

Os termos rígido e flexível compreendem as reações estruturais dos materiais isoladamente como também as respostas estruturais do pavimento como um todo. Logo, descreve o desempenho do pavimento sobre ações de esforços externos (BALBO, 2007).

Embora o pavimento seja composto por várias camadas, tradicionalmente os pavimentos são classificados em dois tipos: rígidos e flexíveis, que distribuem a carga pela base e sub-base de maneiras diferentes (SENÇO, 2007)

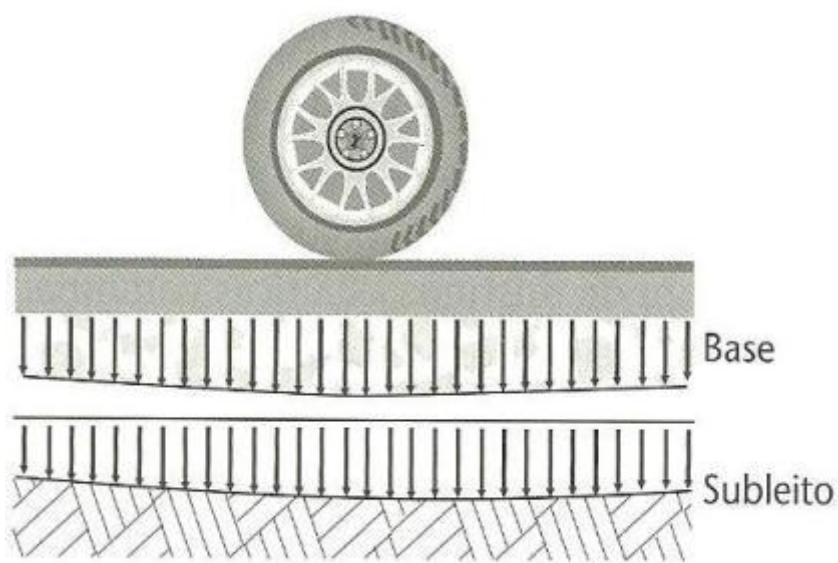
As figuras 01 e 02 mostram a resposta mecânica dos pavimentos flexível e rígido, respectivamente.

Figura 01 – Resposta mecânica do pavimento flexível – pressões concentradas.



Fonte: Balbo, 2007.

Figura 02 – Resposta mecânica do pavimento rígido – pressões distribuídas.

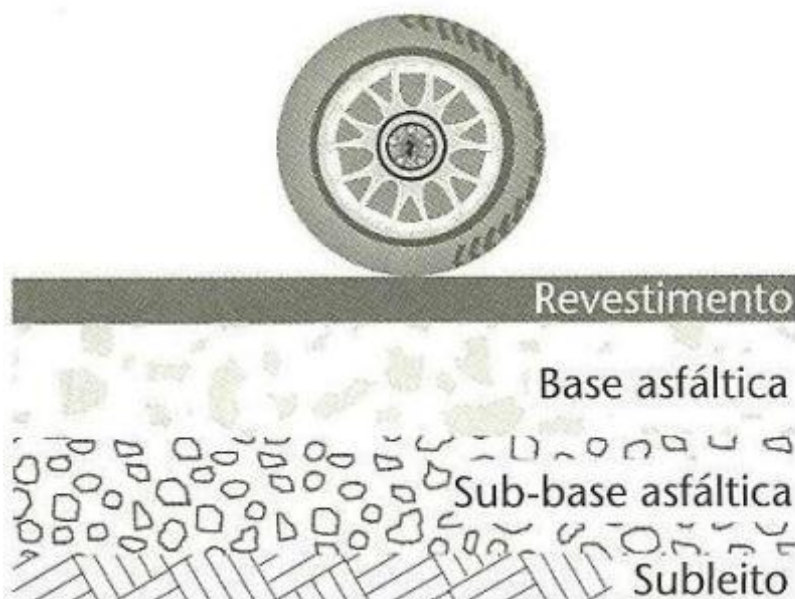


Fonte: Balbo, 2007.

2.2.1 Camadas do Pavimento

Os pavimentos asfálticos são formados por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, conforme mostra a figura 03:

Figura 03 – Camadas principais do revestimento asfáltico.



Fonte: Balbo (2007).

Para Balbo (2007), o subleito é constituído de material natural, consolidado e compactado, ou pode ser composto também por material transportado e após ser compactado.

Porém deve-se levar em consideração que o solo não deve ser expansivo, e para isso utiliza-se a NBR 9895/1987 Solo – Índice de Suporte Califórnia, que traz o método para definir o ISC, bem como a expansão do solo em laboratórios através de amostras deformadas.

Júnior (1992 apud NABESHIMA, ORSOLIN e SANTOS, 2011) afirma que caso o valor do ISC do subleito natural seja inferior ao descrito em projeto, é necessária a execução de uma camada de reforço cujo material apresente capacidade de suporte superior ao do subleito de projeto.

As camadas de base e sub-base tem a função de resistir aos esforços transmitidos pelas camadas superiores além de servir de camada drenante e controlar a capilaridade da água. A sub-base tem ainda por função, corrigir a camada de subleito (BAPTISTA, 1978).

Balbo (2007) afirma que para a camada de base e sub-base podem ser empregados materiais como solo estabilizado naturalmente, solo – brita (mistura de solos e agregados), brita graduada tratada com cimento, brita graduada, solos estabilizados quimicamente com ligantes asfálticos ou hidráulicos.

Segundo Senço (2007), as bases podem ser classificadas em rígidas e flexíveis.

As bases rígidas podem ser (SENÇO, 2007):

- Concreto de cimento: mistura de agregados, areia, cimento e água, nas dimensões previstas em projeto. É que mais se caracteriza como rígida, podendo ser armada ou não;
- Macadame de cimento: constituída de agregado graúdo – diâmetro entre 50 mm e 90 mm – onde os vazios são preenchidos com material de granulometria mais fina e cimento;
- Solo cimento: mistura de solo, cimento e água, nas proporções previstas em projeto.

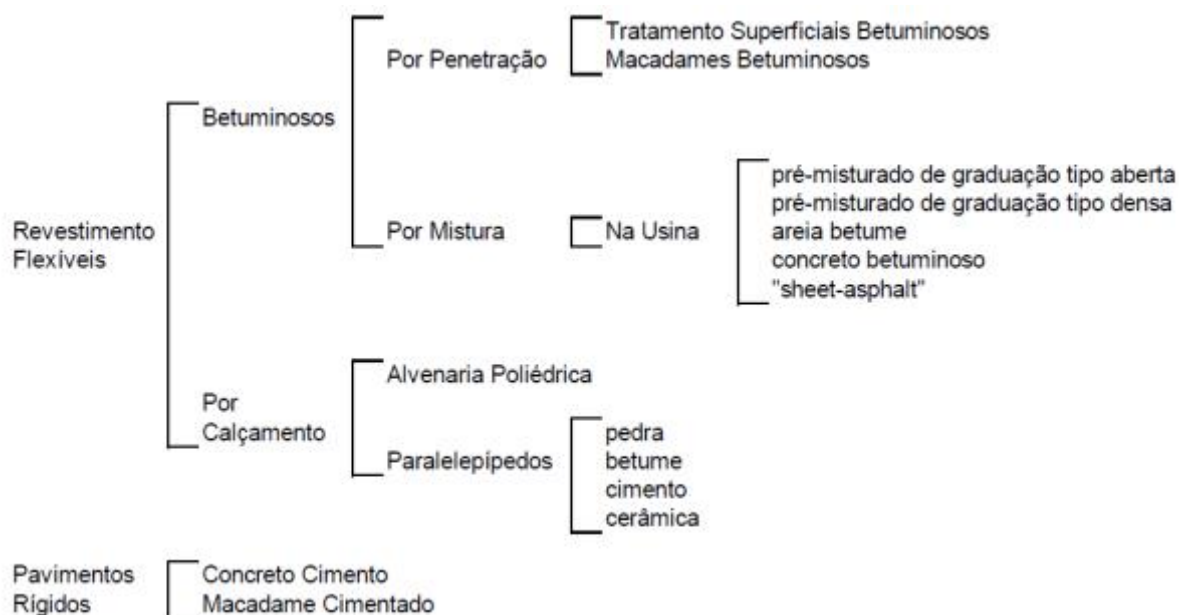
Por sua vez, as bases flexíveis são constituídas por (SENÇO, 2007):

- Base de solo estabilizado: constituída de solo específico, com a granulometria, o limite de liquidez e o índice de plasticidade, especificados previamente;
- Base de macadame hidráulico: constituída de uma ou mais camadas de pedra britada, com a introdução de material de enchimento com a ajuda de água;
- Base de brita graduada: mistura feita em usinas de agregados previamente dosado, contendo material de enchimento, água e cimento. Substitui a base de macadame hidráulico;
- Base de macadame betuminoso: camadas de agregados interligados por pinturas de material betuminoso, sendo que o número de camadas depende da espessura determinada em projeto.

E por fim, o revestimento, recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos, ou seja, é a camada superior destinada a proteger as camadas inferiores da deterioração causada pela ação do tráfego e agentes climáticos, tornando-as impermeáveis (TROMBETTA, 2010).

Os revestimentos podem ser separados de acordo com o esquema mostrado pela figura 04 (DNIT, 2006):

Figura 04 – Classificação dos pavimentos.



Fonte: DNIT (2006).

2.2.2 Pavimento Flexível

Para 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. Ainda o DNIT (2006), afirma que um exemplo típico é “um pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada ou macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.”

2.2.3 Pavimento Rígido

O DNIT (2006) classifica o pavimento rígido como:

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.

Segundo Baptista (1978), os pavimentos rígidos são aqueles que a espessura é determinada em função da resistência à flexão das lajes de concreto. É um revestimento constituído por ligantes de cimento.

O concreto é constituído por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, distribuído numa camada devidamente adensada, essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento (DNIT, 2006).

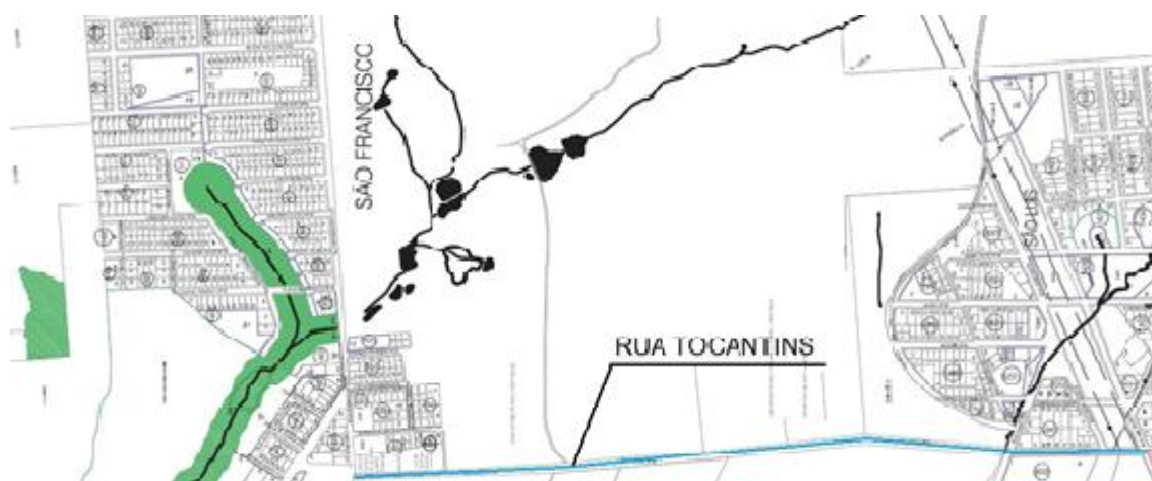
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que o estudo em questão fosse realizado, seguiu-se uma metodologia de pesquisa onde primeiramente foi caracterizado o local e em seguida detalhado os métodos e materiais necessários para a execução dos projetos, que serão abordados neste capítulo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A figura 05 ilustra o trecho da Rua Tocantins em estudo, situada na cidade de Pato Branco-PR.

Figura 05 – Trecho em estudo.



Fonte: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Pato Branco, 2012, adaptado.

O trecho compreende uma distância de 1,6 Km compreendidos entre as ruas Artibano Sutile e Abel Bortot, fazendo ligação entre os bairros São Francisco e São Luiz, respectivamente.

A atual situação da rua é sem pavimentação, apenas possui solo compactado a rolo, com valas de drenagens nas suas laterais. Também é possível evidenciar 'costelas de vaca', buracos e segregação lateral, conforme mostram as figuras 06 e 07.

Figura 06 – Rua Tocantis saída para a Rua Artibano Sutile.



Fonte: Autores, 2013.

Figura 07 – Rua Tocantis saída para a Rua Abel Bortot.



Fonte: Autores, 2013.

3.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A abordagem do problema é tanto quantitativa, qualitativa e comparativa, uma vez que tem por objetivo além de analisar os resultados, compara-los entre si, de modo a identificar o de melhor desempenho.

Para isso foram cumpridas as seguintes etapas de pesquisa:

- Revisão bibliográfica, onde foram abordados os principais conceitos sobre pavimentação e tráfego de vias urbanas;
- Levantamento topográfico, onde foi possível transmitir para o meio digital a topografia atual do local de estudo, e assim identificar os pontos de coleta de amostras;
- Coleta de dados de tráfego, como tipos de veículos, horários de maior utilização da via;
- Coleta de amostras deformadas de solo para a realização de ensaios em laboratórios disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Câmpus Pato Branco*;
- Dimensionamentos necessários ao estudo seguindo as normas vigentes para cada tipo de pavimento;
- Realização dos orçamentos dos projetos elaborados, seguindo como referência a tabela do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) ou outra tabela de igual importância;
- Comparação dos orçamentos obtidos.

3.2.1 Levantamento Topográfico

Foi considerado o levantamento topográfico realizado pelos alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Câmpus Pato Branco*, para estudos de iniciação científica, Osvaldo Junior Cibulski, Thábata Fritzen e Viviane de Paula Miotto.

3.2.2 Coleta de Dados de Tráfego

O estudo do tráfego tem como objetivo examinar todos os tipos de veículos em circulação, selecionando-os em classes, de acordo com o porte do veículo. A grande variedade de veículos existentes leva a escolha dos chamados veículos de projeto, que para finalidades práticas, são definidos como veículos cujo peso, dimensões e características de operação servirão de base para estabelecer os parâmetros necessários para a realização de um projeto de pavimentação asfáltica (MANUAL DE ESTUDO DE TRÁFEGO, 2006).

Classificam-se os veículos em cinco categorias (MANUAL DE PROJETO DE INTERSEÇÕES, 2005):

- VP: veículos leves, operacional e fisicamente assimiláveis ao automóvel, incluindo minivans, vans, utilitários, pick-ups e similares;
- CO: veículos comerciais não articulados, rígidos, incluem caminhões, ônibus convencionais, usualmente de dois eixos e quatro a seis rodas;
- O: veículos comerciais rígidos e de maiores dimensões, incluindo ônibus urbanos longos, ônibus de longo percurso e de turismo, caminhões longos, usualmente com três eixos. O comprimento desses veículos aproxima-se do limite máximo legal admissível para veículos rígidos;
- SR: veículos comerciais articulados, composta de cavalo mecânico e um semi-reboque, cujo comprimento desses veículos aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria;
- RE: veículos comerciais com reboque, composta de uma unidade tratora simples, um semi-reboque e um reboque, conhecido como bitrem. O comprimento dos veículos nessa categoria é o máximo permitido pela legislação.

Para o levantamento do tráfego da Rua Tocantins, foi baseado na classificação do Manual de Estudos de Tráfego (2006), cuja configuração básica de cada veículo inclui a quantidade de unidades que compõe o veículo, os números de eixo e grupos de eixos, independentemente da rodagem. A rodagem é definida pela quantidade de pneumáticos por eixo, ou seja, uma rodagem simples indica que cada eixo possui apenas um pneumático em cada extremidade, e conseqüentemente, uma rodagem dupla aponta que cada eixo possui dois pneumáticos em cada extremidade.

Através de um código alfanumérico representa as diversas classes, como por exemplo, 2S3, onde “2” é o número de eixo da unidade tratora, “S” é a categoria, e “3”, quando existir, é o número de eixo da unidade rebocada (MANUAL..., 2006).

As letras referem-se aos seguintes veículos (MANUAL..., 2006):

- C: veículo simples (caminhão ou ônibus) ou veículo trator com reboque;

- S: veículo trator (cavalo mecânico) com semi-reboque;
- I: veículo trator com semi-reboque com distância entre eixos maior 2,40 m (eixos isolados);
- J: veículo trator com semi-reboque com um eixo isolado e um eixo em tandem;
- D: combinação dotada de duas articulações;
- T: combinação dotada de três articulações;
- Q: combinação dotada de quatro articulações;
- X: veículos especiais;
- B: ônibus.

Vale ressaltar que essa classificação é extremamente útil para os levantamentos de tráfego a serem executados, já que permitem a estimativa de intervalos de carga dos diferentes eixos utilizados no projeto de pavimentos rígidos e o número “N” utilizados nos projetos de pavimentos flexíveis (MANUAL..., 2006).

3.2.2.1 Determinação do tráfego

Qualquer amostra deve ser dimensionada a partir de análises estatísticas, contudo para a contagem de tráfego em especial devem ser feitas algumas considerações. Para medir a utilização média de uma via, o índice adequado é o Volume Médio Diário (VMD), entretanto determinar o Volume Horário de Projeto (VHP), que guarda relação com a capacidade da via e é de suma importância para seu dimensionamento (DNIT, 2006).

Os dados de contagem fornecerão, após as correções e ajustes, os volumes médios diários atuais, como os dados serão por amostragem torna-se necessário expandir a amostra para 12 horas, esta expansão deverá ser feita para cada tipo de veículo constatado na referida amostra.

Para ter eficiência qualquer via deve atender a um nível de serviço aceitável durante sua vida útil, para isso deve ser determinado com certa precisão qual será o volume de tráfego durante este período. Desta forma torna-se pertinente conhecer alguns tipos de tráfego (DNIT, 2006):

- Tráfego Existente ou Normal: definido como aquele que já utiliza a via independente da realização ou não do investimento;

- Tráfego Desviado: definido como aquele que, por razão das melhorias realizadas no trecho, é desviado de outras rotas para a rota em questão;
- Tráfego Gerado: definido como aquele que é criado por viagens oriundas das obra do trecho;
- Tráfego Induzido: definido como sendo criado por modificações socioeconômicas da região de influencia do trecho.

Outros aspectos que devem ser levados em conta na projeção do tráfego são (DNIT, 2006):

- Capacidade de produção e atração do trecho;
- Distribuição das viagens;
- Variações na geração e distribuição, devido a mudanças demográficas, econômicas, dos meios de transporte e etc.

O período de análise é fixado tendo em vista os fins a que se destina: fornecer elementos para o dimensionamento do projeto e para sua análise econômica. Para o dimensionamento do projeto seria desejável considerar o seu período de vida útil. Entretanto, isso não é possível, seja por causa da perda de precisão das projeções feitas para períodos muito longos, seja pela diferença de vida útil apresentada por cada um dos componentes do projeto (obras-de-arte, pavimentos, drenagem, etc.), (DNIT, 2006).

Nestas condições o mais interessante é adotar o tempo de projeto igual ao do elemento de menor vida útil do projeto, ou seja, o pavimento.

3.2.3 Ensaio de Caracterização do Solo

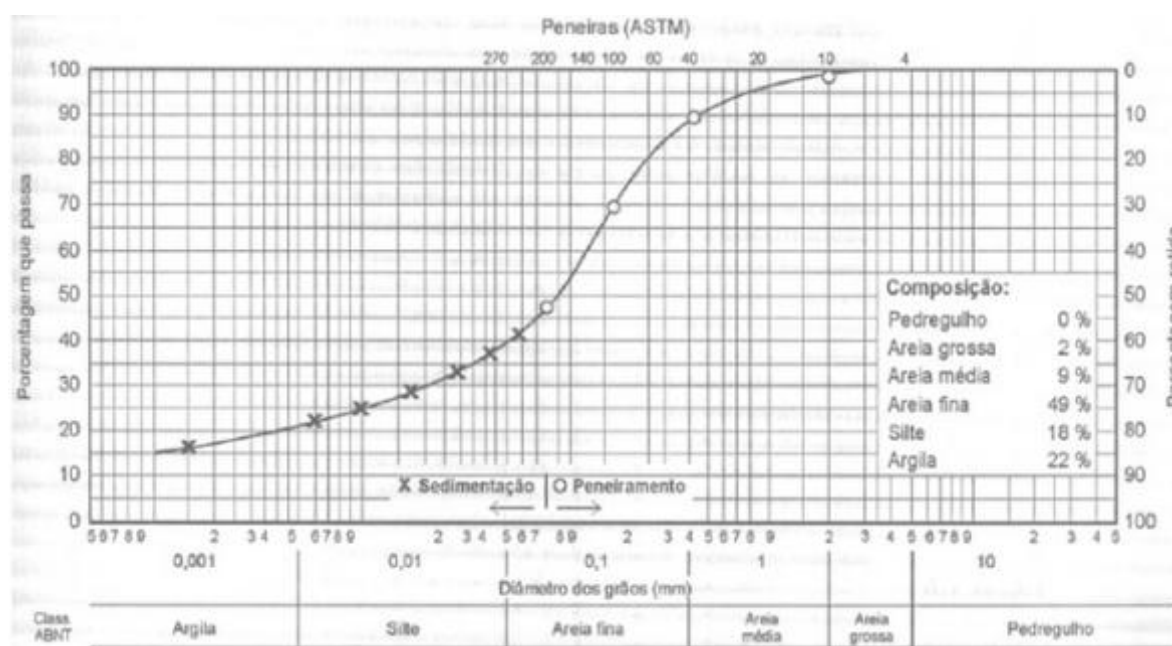
Para Senço (2007), a construção de um pavimento envolve não somente o conhecimento dos materiais que constituem as camadas, mas também dos materiais que formam o subleito, destacando-se o solo que interfere diretamente em todos os estudos de um pavimento, uma vez que é o suporte da estrutura.

3.2.3.1 Textura e granulometria

Os solos recebem designações específicas segundo as dimensões das suas partículas dentro de determinados limites convencionais, que se identificam com os termos usuais estabelecidos (CAPUTO, 1988).

Ainda Caputo (1988), afirma que essas frações são: pedregulho, areia, silte, argila. A análise granulométrica é representada, graficamente, pela curva granulométrica. Esta curva, mostrada na figura 08, apresenta em um de seus eixos as dimensões das partículas e na outra sua porcentagem em peso. Segundo o comportamento da curva pode-se diferenciar as diferentes medições das partículas minerais do solo, ou seja, podemos ter uma granulometria contínua, ou descontínua; uniforme; bem graduada ou mal graduada.

Figura 08 – Exemplo de curva granulométrica.



Fonte: Schimitz, 2013.

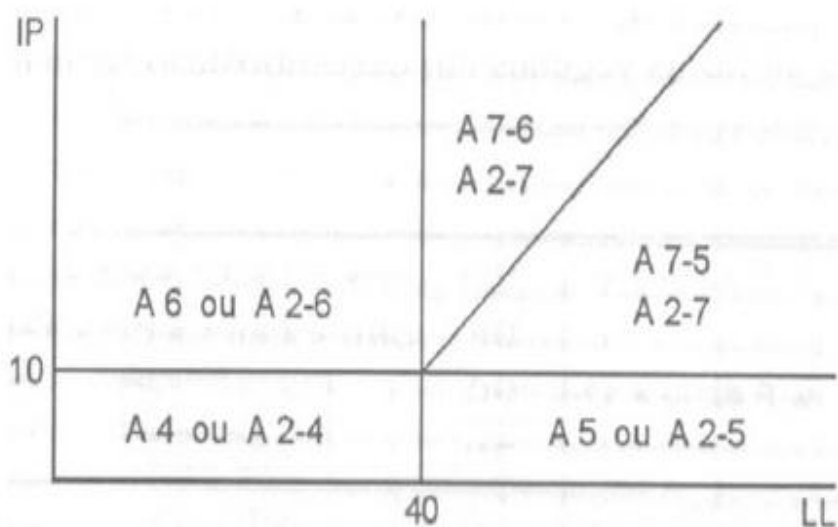
Para o sistema rodoviário a classificação se inicia pela constatação da porcentagem de material que passa pela peneira nº 200, limitado a 35%, esses são solos classificados como sendo dos grupos A-1, A-2 e A-3. Os solos compreendidos acima de 35% que passam pela peneira de nº 200 formam os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 (PINTO, 2006).

Para Pinto (2006), solos grossos são subdivididos em:

- A-1a: solos grossos, com menos de 50% passando na peneira n° 10, menos de 30% passando na peneira n° 40 e menos de 15% passando na peneira n° 200. O Índice de Plasticidade (IP) dos finos deve ser menor que 6;
- A-1b: solos grossos, com menos de 50% passando na peneira n° 40 e menos de 25% passando na peneira n° 200, também com IP menor que 6;
- A-3: areias finas, com mais de 50% passando na peneira n°40 e menos de 10% passando peneira n° 200, com IP nulo.
- A-2: são areias em que os finos presentes constituem a característica secundária, estão subdivididos em A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7, em função dos índices de consistência.

As figuras 09 e 10 mostram a classificação dos solos finos e o esquema para a classificação pelo sistema rodoviário respectivamente.

Figura 09 – Classificação dos solos finos.



Fonte: Schimitz, 2013.

Figura 10 – Esquema para a classificação pelo sistema rodoviário.

		% P #10 2,0 mm	% P #40 0,42 mm	% P #200 0,075 mm	IP
% P #200 < 35	A-1a	< 50	< 30	< 15	< 6
	A-1b		< 50	< 25	< 6
	A-3	> 50	< 10	NP	
	A-2				
% P #200 > 35	A-4				
	A-5				
	A-6				
	A-7-5				
	A-7-6				

Fonte: Schimitz, 2013.

3.2.3.2 Determinação do teor de umidade

Para obter o teor de umidade, é necessário determinar o peso da amostra de solo no seu estado natural e o peso após completa secagem, a partir destes valores é possível identificar a massa de água contida no solo. Com a razão entre o peso da água contida num certo volume de solo e o peso da parte sólida existente neste mesmo volume, expressa em porcentagem, tem-se o teor de umidade do solo, representada na equação 01 (CAPUTO, 1988).

$$h\% = \frac{P_A}{P_S} \times 100 \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

$h\%$ = teor de umidade (%);

P_A = peso de água contida num determinado volume de solo (N);

P_S = peso da parte sólida existente no mesmo volume (N).

Para que o ensaio da determinação do teor de umidade fosse realizado, foi necessária a utilização dos seguintes materiais:

- Balança;
- Álcool;
- Cápsula de porcelana;
- Espátula;
- Fósforo.

Cada amostra de solo foi colocada na cápsula de porcelana previamente pesada, posteriormente feita à adição de álcool e provocada à queima do mesmo, depois da completa combustão do álcool a amostra era pesada. O processo se repetiu até que a amostra apresenta-se massa constante, o que indica a completa ausência de água.

3.2.3.3 Determinação da massa específica aparente máxima e do teor de umidade ótima

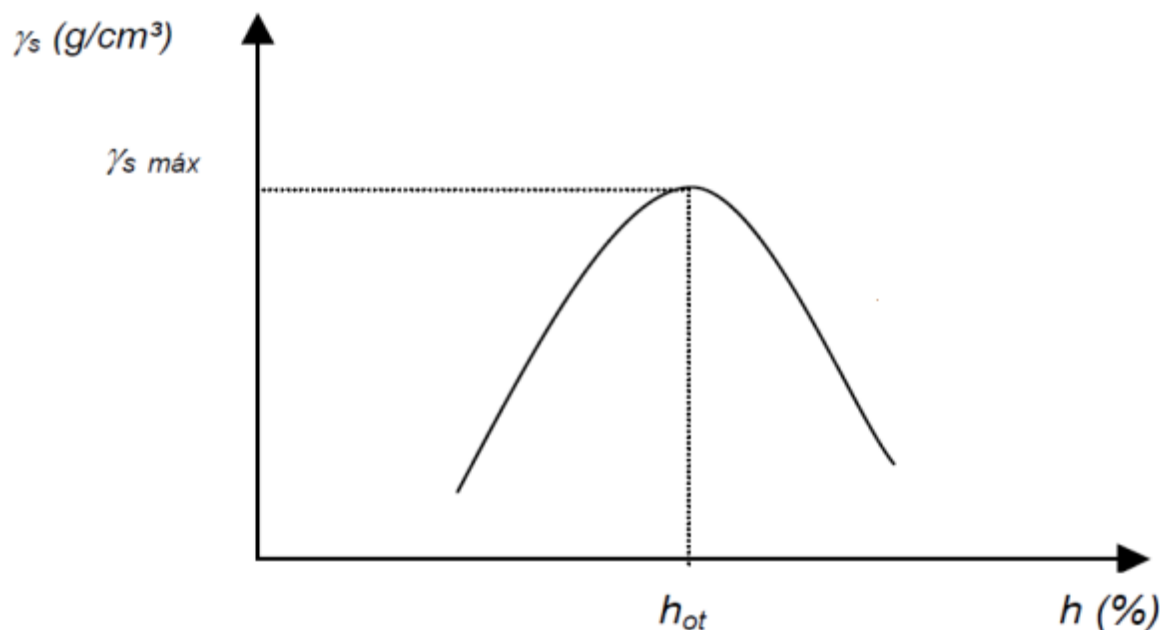
A massa específica do solo varia de acordo com a compactação do solo e o teor de umidade. Variando a densidade do solo para cada compactação e teor de umidade, é possível construir um gráfico onde se têm densidade versus teor de umidade. No ponto de inflexão da curva obtêm-se o teor de umidade ótima (h_{ot}), que representa que se um determinado solo for compactado com esse teor de umidade, apresentará uma massa específica aparente máxima. (BAPTISTA, 1978).

A figura 11 mostra um exemplo da curva de compactação para um determinado tipo de solo, com os valores de umidade no eixo das abscissas e com os valores de densidade (Y_s) no eixo das ordenas.

Para Baptista (1978), determina-se a densidade máxima do solo pelo o ensaio do *Proctor* através do Índice de Suporte Califórnia.

Balbo (2007), afirma que o ensaio de ISC consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo, e a pressão imposta para produzir a mesma penetração numa brita padronizada. Com o valor, expresso em porcentagem, dessa relação, pode-se determinar a espessura do pavimento, em função do tráfego.

Figura 11 – Curva de compactação.



Fonte: Fortes, 2013.

3.2.3.4 Limite de Plasticidade

O Limite de Plasticidade (LP) é tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço é a umidade de transição entre os estados plástico e semi-sólido do solo, em laboratório o é obtido determinando-se o teor de umidade no qual um cilindro de um solo com 3 mm de diâmetro apresenta-se fissuras a obtenção dos limites de consistência do solo permite estimar, suas propriedades (CAPUTO, 1988).

Para a execução do ensaio de Limite de Plasticidade (LP) seguiu-se as recomendações prescritas na NBR 7180 Solo – Determinação do Limite de Plasticidade, para cada amostra.

Os materiais utilizados foram:

- Estufa capaz temperatura entre 105°C a 110°C;
- Cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- Cápsulas de alumínio, para a determinação da umidade;
- Balança;

- Gabarito cilíndrico para comparação, com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento;
- Placa de vidro de superfície esmerilhada, com cerca de 30 cm de lado.

Colocou-se em uma cápsula de porcelana, adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, dentre 15 e 30 minutos, até se obter uma pasta homogênea e de consistência plástica.

Tomou-se cerca de 10g da massa homogeneizada e moldou-se uma pequena bola. Sobre uma placa de vidro, rolou-se o material com pressão suficiente da palma da mão até lhe dar um formato de cilindro.

Se amostra rompesse antes de atingir os 3 mm de diâmetro, devolvia-se a quantidade de solo retirada da amostra e adicionava-se água destilada, amassava-se continua e vigorosamente, durante 3 minutos, e repetia-se o processo.

Caso o material não rompesse ao atingir 3 mm de diâmetro, também era necessário adicionar água destilada a amostra e assim, depois de amassar continua e vigorosamente por 3 minutos, repetia-se o processo.

Quando a amostra se fragmentou com um diâmetro de 3 mm e comprimento de 100 mm, conforme gabarito, retirou-se imediatamente uma parte do mesmo para uma cápsula de alumínio, e colocada na estufa, para a determinação da umidade.

Repetiu-se os procedimentos descritos acima, até se obter pelo menos 5 valores de umidade. Deve-se considerar como resultado final, a média entre os valores de umidade obtidos, expressos em porcentagem.

3.2.3.5 Limite de Liquidez

Limite de liquidez (LL) é definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico; é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. Experimentalmente corresponde ao teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho de Casagrande (BAPTISTA, 1978).

Para a execução do ensaio de Limite de Liquidez (LL) seguiu-se as recomendações prescritas na NBR 6459 Solo – Determinação do Limite de Liquidez, para cada amostra.

Os materiais utilizados foram:

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C a 110°C;
- Cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- Cápsula de alumínio, para a determinação da umidade;
- Balança;
- Aparelho com características e dimensões recomendadas pela norma supracitada;
- Cinzel com características e dimensões recomendadas pela norma supracitada.

Colocou-se em uma cápsula de porcelana, adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente, dentre 15 e 30 minutos, até se obter uma pasta homogênea.

Colocou-se certa quantidade da amostra no aparelho, e dividiu-se a massa em duas partes, passando o cinzel através da mesma, de maneira a abrir uma ranhura em parte central, o cinzel deslocou-se perpendicularmente à superfície da concha, conforme figura 12.

Figura 12 – Ensaio de limite de liquidez.



Fonte: Autores, 2013.

A pasta deveria apresentar consistência tal que fosse necessário cerca de 35 golpes para fechar a ranhura, caso esse valor fosse ultrapassado, a amostra era novamente amassada por 3 minutos, com acréscimo de água destilada, e assim repetia-se o ensaio, observando que não deveria apresentar menos de 25 golpes.

Golpeava-se a concha do aparelho contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo, anotando-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores das ranhuras se unissem ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente.

Transferia-se uma pequena quantidade da amostra golpeada para uma cápsula de alumínio, para a determinação do teor de umidade.

O restante da massa transferia-se para a cápsula de porcelana e adicionava-se água destilada, amassando vigorosa e continuamente, por 3 minutos, e assim repetia-se o ensaio até obter 5 pontos de ensaio.

Com os resultados obtidos, construiu-se um gráfico para cada amostra, onde no eixo das ordenadas têm-se os números de golpes, em escala logarítmica, e no eixo das abcissas, os valores de teor de umidade de cada ponto. Ajustou-se uma reta através dos pontos obtidos, e assim obteve-se um teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo.

3.2.3.6 Índice de Plasticidade

Define-se plasticidade a propriedade dos solos finos que, sob certas condições de umidade, apresentam maior ou menor capacidade de serem moldados, ou seja, a sua coesão. É determinado pela diferença entre os valores obtidos nos ensaios de LL e LP, onde quanto maior o teor de umidade, menor a resistência (DAVILLA, 2013).

3.2.3.7 Índice de grupo

Segundo Lima (2003) o índice de grupo está relacionado com os ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade e é função da resistência do subleito.

3.2.4 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação que tem por objetivo determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente dos solos. A NBR 7182 Solo – Ensaio de Compactação prescreve o método, as aparelhagens e os cálculos necessários à correta obtenção de dados.

Os materiais utilizados foram:

- Balança;
- Peneiras de 19 e 4,8mm, de acordo com a NBR 5734;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C a 110°C;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- Cápsula de alumínio, para a determinação da umidade;
- Bandejas metálicas de 75 cm x 50 cm x 5 cm;
- Régua de aço biselada com comprimento de 30 cm;
- Cilindro metálico pequeno (cilindro de Proctor) compreende o molde cilíndrico, sua base e cilindro complementar, de mesmo diâmetro (colarinho);
- Soquete pequeno com massa de 2500 ± 10 g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda (guia), que é de 305 ± 2 mm;
- Provetas de vidro com capacidade de 1000 cm³, 200 cm³ e 100 cm³ e com graduações de 10 cm³, 2 cm³ e 1 cm³, respectivamente;
- Extrator de corpo de prova
- Papel filtro com diâmetro igual ao do molde
- Base rígida, preferencialmente de concreto, com massa superior a 100 kg.

Na bandeja metálica adicionou-se água gradativamente, com o auxílio da proveta de vidro, mirando quantidade suficiente a obter teor de umidade 5% abaixo da umidade ótima presumível, revolvendo a amostra até a mesma apresentar aspecto homogêneo, conforme figura 13. Após isso se fixou o cilindro e o cilindro complementar a base, que foram apoiados sob uma base rígida, posteriormente foi colocado o papel filtro com o intuito de evitar a aderência do solo compactado com a superfície metálica da base.

Figura 13 – Amostra preparada para o ensaio de compactação.



Fonte: Autores, 2013.

Tomou-se a amostra previamente preparada para proceder a sua compactação, esta que foi feita em 03 camadas cada uma com 26 golpes, conforme determinado no capítulo 4 da NBR 7182, Tabela de Energias de compactação. Durante a compactação foi atentado para que o soquete sempre ficasse perpendicular à superfície do solo, os golpes fossem aplicados uniformemente, as camadas deveriam resultar em espessuras aproximadamente iguais, e após a compactação de cada camada essa era ligeiramente escarificada, conforme figura 14.

Figura 14 – Ensaio de compactação.



Fonte: Autores, 2013.

Após a compactação da última camada o cilindro complementar era retirado e o excesso de solo compactado era retirado com o auxílio de régua biselada. Feito isso, o molde era retirado da base e o conjunto molde e solo era pesado e anotado o valor, conforme figura 15. A cada novo molde o teor de umidade era incrementado em 2%, e o processo se repetia até que o peso do conjunto molde e solo diminuíssem.

Figura 15 – Pesagem conjunto molde e solo.



Fonte: Autores, 2013.

Ao final de cada compactação e pesagem, o corpo-de-prova era retirado com o auxílio do extrator, conforme a figura 16.

Com os dados obtidos é montado um gráfico de massa específica em função do teor de umidade, através destes dados é inserida a curva de compactação que tem formato parabólico, o teor de umidade ótimo corresponde na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente seca máxima.

Figura 16 – Extrator de corpo-de-prova.



Fonte: Autores, 2013.

3.2.5 Índice de Suporte Califórnia – ISC

No ensaio de CBR, é medida a resistência a penetração de uma amostra saturada compactada (ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA, 2013).

A NBR 9895 Solo – Índice de Suporte Califórnia prescreve o método, as aparelhagens e os cálculos necessários à correta obtenção dos resultados.

Para a realização do ensaio, foram utilizados os seguintes materiais:

- Balança;
- Peneiras de 19 e 4,8mm de acordo com a NBR 5734 Peneiras Para Ensaio com Telas de Tecido Metálico – Especificação (1989);
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- Cápsula de alumínio, para a determinação da umidade;
- Bandejas metálicas de 75 cm x 50 cm x 5 cm;
- Régua de aço biselada com comprimento de 30 cm;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;

- Molde cilíndrico, base perfurada, cilindro complementar e disco espaçador metálico;
- Soquete com massa de 4536 ± 10 g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda que é de 457 ± 2 mm;
- Prato perfurado com 149 mm de diâmetro e 5 mm de espessura, com haste central ajustável, constituída de uma parte fixa rosqueada e de uma camisa rosqueada internamente, com a face superior plana para contato com o extensômetro;
- Porta extensômetro;
- Disco anelar de aço para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com 2270 ± 10 g de massa total, com diâmetro externo de 149 mm e diâmetro interno de 54 mm;
- Extensômetro com curso mínimo de 10 mm graduado em 0,01 mm;
- Prensa composta por quadro formado por base, travessa e tirante, com entalhe na parte inferior da travessa para suspensão de um dinamômetro, macaco de engrenagem, de operação manual por movimento giratório de manivela com duas velocidades, prato reforçado ajustável ao macaco com 240 mm de diâmetro;
- Conjunto dinamométrico com capacidade de 50 kN sensível a 25 N, constituído por anel dinamométrico de aço calibrado, com dispositivo para fixação no entalhe da travessa, extensômetro graduado em 0,001 mm fixado ao centro do anel, para medir encurtamentos diametraes; pistão de penetração com 49,6 mm de diâmetro e com altura de cerca de 190 mm fixado na parte inferior do anel, extensômetro graduado em 0,01 mm, com curso maior que 12,7 mm, fixado lateralmente ao pistão de maneira que seu pino se apoie no bordo superior do molde;
- Tanque com capacidade de imersão total dos corpos de prova;
- Provetas de vidro com capacidade de 1000 cm^3 , 200 cm^3 e 100 cm^3 e com graduações de 10 cm^3 , 2 cm^3 e 1 cm^3 , respectivamente;
- Base rígida, preferencialmente de concreto, com massa superior a 100 kg.

Na bandeja metálica foi colocado material passante na peneira 19 mm e que ficava retido na peneira 4,8 mm, num volume suficiente a moldagem do corpo de prova. A esta amostra de solo era acrescentada quantidade de água suficiente para

que amostra atingisse teor de umidade ótimo determinado no ensaio de compactação, o solo era revolvido até que a amostra apresentasse aspecto homogêneo, conforme figura 17.

Figura 17 – Preparação das amostras de solo para o ensaio de ISC.



Fonte: Autores, 2013.

Para a moldagem dos corpos de prova eram fixados os moldes às suas respectivas bases juntamente com o disco espaçador, colocado no interior do molde. O solo previamente preparado, era inserido no molde e a compactação de dava em 5 camadas de 12 golpes, sempre se atentando para que as camadas tivessem espessuras aproximadamente iguais, e após a compactação de cada amostra, a superfície desta era ligeiramente escarificada, de acordo com a figura 18.

Figura 18 – Compactação do solo à umidade ótima.



Fonte: Autores, 2013.

Feita a compactação da amostra, retirava-se o cilindro complementar assim como o excesso de solo compactado, como mostra a figura 19.

Figura 19 – Solo biselado.



Fonte: Autores, 2013.

O molde então era virado deixando o espaço anteriormente ocupado pelo disco espaçador voltado para cima, neste espaço colocava-se o prato perfurado e sobre este, discos anelares cuja massa total era de 4540 ± 20 g. Na borda superior do cilindro era colocado o porta extensômetro e acoplado a este o extensômetro, o conjunto era posicionado de tal forma que a extremidade da haste do extensômetro ficasse em contato com a haste de expansão do prato perfurado, tomando cuidado de sempre zerar o extensômetro, tendo assim uma leitura inicial padrão para todas as amostras.

Posteriormente as amostras eram imersas em água para a realização do ensaio de expansão, onde eram realizadas leituras a cada 24h durante 4 dias.

Após o período de embebição, retirava-se cada corpo de prova da imersão e escoava-os por no mínimo 15 minutos, após esse tempo realizava-se o ensaio de penetração.

No topo de cada corpo de prova eram colocadas às mesmas sobrecargas utilizadas para o ensaio de expansão. O conjunto era colocado sob o prato da prensa de CBR, o assentamento do pistão de penetração era feito pela aplicação de uma carga de aproximadamente 45 N controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico. Sempre atentava-se para que tanto o extensômetro do anel dinamométrico, quanto o extensômetro que mede a penetração do pistão no solo estivessem zerados para somente assim acionar a manivela.

A manivela era rotacionada de forma a impor à prensa um deslocamento de 1,27mm/minuto, as leituras eram realizadas conforme prescrito na NBR 9895: a cada 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 minutos. As figuras 20, 21, 22 e 23 mostram o processo do ensaio de penetração.

Figura 20 – Prensa para o ensaio de ISC.



Fonte: Autores, 2013.

Figura 21 – Corpos-de-prova sendo escoados para o ensaio de penetração.



Fonte: Autores, 2013.

Figura 22 – Corpo-de-prova preparado para o ensaio de penetração.



Fonte: Autores, 2013.

Figura 23 – Ensaio de penetração.



Fonte: Autores, 2013.

3.3 DIMENSIONAMENTOS DOS PAVIMENTOS

Os principais fatores que determinarão os parâmetros para o dimensionamento de cada tipo de pavimento serão: características do solo de fundação, propriedades dos materiais constituintes das camadas do pavimento, o tráfego sobre o qual o pavimento será solicitado, os materiais constituintes da camada de revestimento, índice pluviométrico, materiais disponíveis na região do estudo e o roteiro de cálculo a ser considerado.

3.3.1 Dimensionamento Pavimento Rígido

Com o intuito de assegurar o adequado nível de segurança aos projetos, introduziu-se no dimensionamento o conceito de confiabilidade estatística, que se entende como a probabilidade de que certo pavimento desempenhará de modo satisfatório, as funções previstas em projeto. Consideram-se, ainda, para a realização do projeto de pavimento rígido os seguintes aspectos (DNIT, 2004):

- A influência das sub-bases estáveis, principalmente as tratadas com cimento;
- O papel do tipo de transferência de carga nas juntas e bordas do pavimento, designado pelas barras de transferência e pelos acostamentos de concreto;
- As consequências de um possível contato parcial entre o pavimento e a sua fundação;
- A ação de diferentes distribuições de tráfego, com relação à geometria das placas;
- Os efeitos do empenamento térmico e higroscópio do concreto no nível de tensões;

Existem três métodos para o dimensionamento dos pavimentos rígidos, que são eles (DNIT, 2004):

- Portland Cement Association (PCA), oriundo dos EUA, um método clássico, fundamentado no Modelo de Fadiga do Concreto e no sistema de análise estrutural ligado ao caso das placas elásticas

apoiadas em fundação contínua, que tem a seu favor a vasta experiência prática em diferentes regiões do mundo;

- Da mesma PCA, o procedimento incorpora um modelo modificado de fadiga, o modelo de erosão, neste inseridas considerações sobre o escalonamento e que emprega a análise estrutural por Elemento Finito;
- Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armado, baseado na determinação das tensões atuantes e dos momentos fletores. O cálculo estrutural é conduzido no Estádio III, de acordo com as prescrições da Norma NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.

Com relação ao projeto geométrico de juntas, o DNIT (2004), traz informações que possibilitam definir:

- As dimensões superficiais das placas de concreto;
- Os tipos, a geometria e a locação das juntas;
- O tipo de aço, a bitola, o comprimento e o espaçamento de barras de transferência de carga e de ligação entre faixas de placas;
- Aspecto especial de projeto.

3.3.1.1 Características do subleito

Atenta-se à ocorrência de variações bruscas nas características do subleito, no dimensionamento dos pavimentos rígidos, essencialmente à presença de solos expansivos e de camadas espessas de argila mole (DNIT, 2004).

Para o dimensionamento da espessura do pavimento rígido, o parâmetro relativo ao suporte do subleito é o coeficiente de recalque. O coeficiente de recalque que é determinado pelo ISC, significa a pressão em kg/cm^2 aplicada ao terreno, capaz de produzir um recalque de 1 cm, em kg/cm^3 . Estes valores variam de acordo com a qualidade e a natureza do subleito (BAPTISTA, 1978).

A tabela 02 traz a relação aproximada entre o tipo de solo do subleito e o coeficiente de recalque.

Tabela 02 – Relação aproximada entre o tipo de solo do subleito e o coeficiente de recalque

Tipo de Solo	Coeficiente de Recalque	
	MPa	Kgf/cm ² /cm
A1-a	>110	>11,0
A1-b	70-165	7,0-16,5
A2-4, A2-5	>80	>8,0
A2-6, A2-7	50-90	5,0-9,0
A3	55-90	5,0-9,0
A4	25-80	2,5-8,0
A5	<50	5,0
A6	<60	6,0
A7-5, A7-6	<60	6,0

Fonte: DNIT, 2004.

3.3.2 Dimensionamento Pavimento Flexível

Existem inúmeros métodos para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis, entre eles, pode-se citar o método do DNIT, o método da Prefeitura Municipal de São Paulo e o método francês (SENÇO, 2007).

O DNIT traz o método de dimensionamento baseado no índice de grupo, no CBR e no estudo do tráfego da via (DNIT, 2006), método este, escolhido para o dimensionamento deste trabalho.

Com foco no dimensionamento de vias urbanas, o método da Prefeitura Municipal de São Paulo baseia-se no método do DNIT, sendo o tráfego considerado em volume médio diário de veículos comerciais considerando o tráfego no sentido mais solicitado (SENÇO, 2007).

O método francês procura resolver o problema do dimensionamento elaborando um catálogo com estruturas pré-fabricas e estruturas-tipo nos moldes do dimensionamento da Prefeitura Municipal de São Paulo. São projetos-tipo em que são considerados para a sua escolha, as condições de tráfego, subleito com ou sem reforço (SENÇO, 2007).

Relativamente aos materiais integrantes das diferentes camadas do pavimento (DNIT, 2006):

- Os materiais do subleito deve apresentar uma expansão, medida no ensaio ISC, menor ou igual a 2% e um C.B.R. maior ou igual a 2%;

- Materiais para reforço do subleito devem apresentar C.B.R. maior do que o do subleito e expansão menor ou igual a 1%;
- Materiais para a sub-base devem apresentar C.B.R. maior ou igual a 20%, e expansão menor ou igual a 1%;
- Materiais para base devem apresentar C.B.R. maior ou igual a 80% e expansão menor ou igual a 0,5%.

Os materiais para base granular devem se enquadrar em uma das faixas apresentadas na tabela 03.

Tabela 03 – Granulometria para base granular

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.

Segundo o DNIT (2006), o pavimento é dimensionado em função do número de operações (N) de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido.

O revestimento é a camada superior do pavimento que tem como função proteger as camadas inferiores da deterioração causada pela ação do tráfego, tornando-as impermeáveis, melhorando as condições de rolamento quanto a comodidade e segurança, e resistindo aos esforços horizontais atuantes (BAPTISTA, 1978).

São métodos empíricos, com base experimental referente a condições climáticas dos Estados Unidos da América, e que tem garantido a mesma proteção quando aplicados no Brasil (DNIT, 2006). “Esses métodos devem ser completados, contudo, por análises que permitam considerar-se, no dimensionamento, o problema de trincamento por fadiga das camadas asfálticas nos pavimentos flexíveis” (DNIT, 2006).

4 RESULTADOS

4.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Com os dados fornecidos pelos alunos de iniciação científica, pode-se marcar os pontos de coleta das amostras de solo, mostradas na tabela 04.

Tabela 04 – Cotas das amostras de solo

AMOSTRA	COTA
1	NÃO LEVANTADO
2	NÃO LEVANTADO
3	NÃO LEVANTADO
4	-1,80
5	2,65
6	12,32
7	20,96
8	25,88
9	29,64
10	39,19
11	53,50
12	57,66
13	50,92
14	42,07
15	33,44
16	29,34

Fonte: Autores, 2013.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DA VIA DE ESTUDO

O objeto de estudo pode ser classificado como uma via coletora, pois faz as ligações entre os bairros São Luíz e São Francisco, onde há trânsito e passagem local equilibrado.

4.3 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

No dia 09 de maio, foram retiradas amostras de solo do local de estudo para que se desse início aos ensaios necessários para caracterização e determinação da resistência do solo, em laboratório.

Segundo o Manual de Pavimentação (2006), do DNIT, foram retiradas amostras a cada 100 metros, num trecho que compreende 1,6 Km, entre a Rua Abel Bortot, no bairro São Luíz, e a Rua Artibano Sutile, no bairro São Francisco.

As amostras foram retiradas com o auxílio de um trado manual, numa profundidade de aproximadamente 50 cm, como mostra as figuras 24 e 25.

Figura 24 – Retirada de amostra de solo ponto de número 04.



Fonte: Autores, 2013.

Figura 25 – Retirada de amostra de solo ponto de número 06.



Fonte: Autores, 2013.

Após a retirada, cada amostra foi devidamente colocada em uma bolsa e levada para o laboratório de solos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e assim, separadas e identificadas para que fosse realizada a secagem ao ar livre, e sucessivamente os ensaios, conforme figura 26.

Figura 26 – Amostras de solo.



Fonte: Autores, 2013.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Cada amostra de solo foi classificada de acordo com o item 3.2.3.1 desse estudo, onde numa porção de 1200 g de solo, analisou-se quanto passava pela peneira de nº 200. Todas as amostras apresentaram percentuais abaixo de 10%.

Assim, a classificação do solo é apresentada na tabela 05.

Tabela 05 – Classificação do solo

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO SOLO
1	A 2-6
2	A 2-6
3	A 2-6
4	A 2-6
5	A 2-4
6	A 2-6
7	A 2-4
8	A 2-6
9	A 2-4
10	A 2-6
11	A 2-6
12	A 2-6
13	A 2-6
14	A 2-6
15	A 2-6
16	A 2-6

Fonte: Autores, 2013.

Observa-se que o material predominante é do tipo A 2-6 ou A 2-4, que são areias em que os finos presentes constituem a característica secundária.

4.5 LEVANTAMENTO DO TRÁFEGO

Para este trabalho foi adotado o método de contagem de tráfego manual, onde a contagem é feita por pesquisadores com o auxílio de fichas, este método de contagem é ideal para a classificação dos veículos, análise de movimentos e interseções, para a contagem em vias urbanas é comum adotar um critério de grupamento de veículos com base em características semelhantes de operação.

O processo consiste na contagem manual, que foi transcrito a uma ficha de contagem volumétrica, adotada segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006).

Foram contabilizados os veículos num período de 12h, sendo distribuídas da seguinte forma:

- 7h às 9h;
- 10h às 13h;
- 14h às 19h.

Observando os dados levantados, segundo Apêndice A, o trecho possui um fluxo predominante, no primeiro horário analisado (7h às 9h), no sentido centro da cidade. No segundo período de tempo, 10h às 13h, tem-se um fluxo equilibrado, tanto de saída do Bairro São Francisco, como de entrada do mesmo. Já no último horário, tem-se o sentido inverso do primeiro período, 7h às 9h, onde há um intenso fluxo ao sentido de entrada do Bairro São Francisco.

Os dados levantados no dia de contagem estão expressos na tabela 06 abaixo:

Tabela 06 – Contagem do tráfego

PERÍODO	AUTOS	UTILITÁRIOS	2C	4C	MOTOS
7h-8h	41	1	0	0	18
8h-9h	35	0	1	0	8
10h-11h	10	4	4	0	1
11h-12h	29	6	2	0	6
12h-13h	31	1	1	0	13
14h-15h	15	3	2	1	5
16h-17h	22	0	3	0	9
17h-18h	52	0	0	2	17
18h-19h	60	4	0	0	16

Fonte: Autores, 2013.

4.6 TEOR DE UMIDADE

Os resultados obtidos estão expressos na tabela 07 abaixo.

Tabela 07 – Teor de umidade

AMOSTRA	SOLO + CÁPSULA (g)	SOLO _{SECO} + CÁPSULA (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
1	246,88	238,55	3,49
2	288,77	250,33	15,36
3	244,46	231,41	5,64
4	283,62	262,68	7,97
5	255,56	238,39	7,20
6	280,56	261,89	7,13
7	288,44	268,20	7,55
8	271,36	264,14	2,73
9	255,78	250,14	2,25
10	248,34	230,73	7,63
11	244,91	227,27	7,76
12	246,04	229,69	7,12
13	205,30	191,30	7,32
14	191,20	175,20	9,13
15	206,10	194,90	5,75
16	214,80	200,00	7,40

Fonte: Autores, 2013.

4.7 LIMITE DE PLASTICIDADE

Para a execução do ensaio de Limite de Plasticidade (LP) seguiu-se as recomendações prescritas na NBR 7180 Solo – Determinação do Limite de Plasticidade, para cada amostra.

Os resultados para cada amostra são mostrados na tabela 08 de limite de plasticidade.

Tabela 08 – Limite de Plasticidade

(continua)

AMOSTRA	TEOR DE UMIDADE 01 (%)	TEOR DE UMIDADE 02 (%)	TEOR DE UMIDADE 03 (%)	LIMITE DE PLASTICIDADE (%)
1	4,94	6,02	6,17	6,02
2	1,20	3,57	3,61	3,57
3	4,88	7,46	7,89	7,46
4	3,61	4,84	6,15	4,84
5	5,75	8,70	8,97	8,70
6	2,53	3,03	3,12	3,03

Tabela 08 – Limite de plasticidade

(conclusão)

AMOSTRA	TEOR DE UMIDADE 01 (%)	TEOR DE UMIDADE 02 (%)	TEOR DE UMIDADE 03 (%)	LIMITE DE PLASTICIDADE (%)
7	3,90	4,55	5,97	4,55
8	1,47	3,53	4,60	3,53
9	8,70	6,94	3,75	6,94
10	1,48	1,22	2,38	1,48
11	1,23	2,47	3,70	2,47
12	1,54	7,25	4,05	4,05
13	3,49	4,76	4,95	4,76
14	3,57	1,18	6,06	3,57
15	3,57	5,56	3,80	3,80
16	3,03	2,60	5,88	3,03

Fonte: Autores, 2013.

4.8 LIMITE DE LIQUIDEZ

Para a execução do ensaio de Limite de Liquidez (LL) seguiu-se as recomendações prescritas na NBR 6459 Solo – Determinação do Limite de Liquidez, para cada amostra.

Os resultados obtidos são expressos na tabela 09 de limite de liquidez.

Tabela 09 – Limite de Liquidez

(continua)

AMOSTRA	LIMITE DE LIQUIDEZ (%)
1	22,29
2	24,64
3	24,59
4	21,74
5	18,37
6	25,82
7	13,41
8	22,42
9	19,06
10	18,79
11	14,98
12	24,31
13	22,02
14	21,36

Tabela 09 – Limite de liquidez
(conclusão)

AMOSTRA	LIMITE DE LIQUIDEZ (%)
15	21,26
16	23,41

Fonte: Autores, 2013.

4.9 ÍNDICE DE PLASTICIDADE

A NBR 7180 (1984) determina que o índice de plasticidade dos solos deve ser obtido através da equação 02.

$$IP = LL - LP \text{ (EQ.02)}$$

Onde:

LL: limite de liquidez;

LP: limite de plasticidade;

IP: índice de plasticidade.

A tabela 10 apresenta os valores do índice de plasticidade de cada amostra de solo analisada, expressa em porcentagem.

Tabela 10 – Índice de Plasticidade

AMOSTRA	IP (%)
1	16,27
2	21,07
3	17,13
4	16,90
5	9,67
6	22,79
7	8,86
8	18,89
9	12,12
10	17,31
11	12,51
12	20,26
13	17,26
14	17,79
15	17,46
16	20,38

Fonte: Autores, 2013.

4.10 ÍNDICE DE GRUPO (IG)

Para Lima (2003) o cálculo de IG é dado pela equação 03, onde as variáveis são influenciadas pelo percentual que passa na peneira 200, no ensaio de granulometria, como também pelos valores de LL e IP.

$$IG = (0,2 \times a) + (0,005 \times a \times c) + (0,01 \times b \times d) \quad (\text{Eq. 03})$$

Sendo:

a: percentual de material que passa pela peneira 200 menos 35%. Se o percentual de material passante for maior que 75%, adota-se a igual a 40%. Se o percentual for menor que 35%, adota-se a igual a 0%;

b: percentual de material que passa pela peneira 200 menos 15%. Se o percentual de material passante for maior que 55%, adota-se b igual a 40%. Se o percentual for menor que 15%, adota-se b igual a 0%;

c: valor do LL menos 40%. Se LL for maior que 60%, adota-se c igual a 20%. Se LL for menor que 40%, adota-se c igual a 0%;

d: valor do índice de plasticidade menos 10%. Se IP for maior que 30%, adota-se d igual a 20%. Se IP for menor que 10%, adota-se d igual a 0%.

Logo, para as amostras estudadas, obteve-se a tabela 11 com os resultados de IG, conforme prescrições acima e considerando os valores característicos do solo apresentados nos capítulos anteriores.

Tabela 11 – Índice de Grupo (IG)

(continua)

AMOSTRA	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	IG (%)
1	0	0	0	6,27	0
2	0	0	0	11,07	0
3	0	0	0	7,13	0
4	0	0	0	6,90	0
5	0	0	0	0,00	0
6	0	0	0	12,79	0
7	0	0	0	0,00	0
8	0	0	0	8,89	0
9	0	0	0	2,12	0
10	0	0	0	7,31	0
11	0	0	0	2,51	0
12	0	0	0	10,26	0

Tabela 11 – Índice de grupo (IG)

(conclusão)

AMOSTRA	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	IG (%)
13	0	0	0	7,26	0
14	0	0	0	7,79	0
15	0	0	0	7,46	0
16	0	0	0	10,38	0

Fonte: Autores, 2013.

Através do IG, e baseando-se na tabela 12 abaixo, determina-se o valor do índice de suporte derivado do índice de grupo (ISIG) (SENÇO, 2007).

Tabela 12 – Valores de ISIG em função de IG

IG	ISIG
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

Fonte: Senço, 2007.

4.11 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Os ensaios de compactação foram executados conforme a NBR 7182 Solo – Ensaio de Compactação.

Os valores do teor de umidade ótimo e massa específica aparente máxima estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Teor de umidade ótimo e massa específica aparente máxima

AMOSTRAS	TEOR DE UMIDADE ÓTIMO (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÁXIMA (g/cm³)
1	22,73	1,885
2	35,94	1,885
3	39,91	1,933
4	34,84	1,890
5	23,53	1,861
6	19,72	1,844
7	31,36	1,843
8	29,36	1,842
9	20,56	1,803
10	21,96	1,863
11	22,12	1,819
12	22,65	1,870
13	35,03	1,925
14	27,35	1,838
15	19,44	1,911
16	36,61	1,964

Fonte: Autores, 2013.

4.12 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O ensaio do Índice de Suporte Califórnia seguiu a NBR 9895 Solo – Índice de Suporte Califórnia. A tabela 14 apresenta os valores obtidos no ensaio de expansão.

Tabela 14: Ensaio de expansão

(continua)

AMOSTRA	LEITURAS DO EXTENSÔMETRO (mm)				
	Inicial	24 Horas	48 Horas	72 Horas	96 Horas
1	0,00	5,08	5,08	5,08	5,08
2	0,00	0,21	0,25	0,27	0,29
3	0,00	0,23	0,28	0,29	0,29
4	0,00	0,12	0,14	0,16	0,17
5	0,00	1,64	1,72	1,77	1,81
6	0,00	0,60	0,69	0,72	0,75
7	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	0,00	0,17	0,20	0,22	0,24

Tabela 14: Ensaio de expansão

(conclusão)

9	0,00	6,06	6,06	6,06	6,06
10	0,00	6,49	6,49	6,49	6,49
11	0,00	1,45	1,50	1,53	1,56
12	0,00	0,61	0,61	0,61	0,61
13	0,00	0,16	0,19	0,20	0,20
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	2,31	2,41	2,45	2,50
16	0,00	0,11	0,11	0,12	0,12

Fonte: Autores, 2013.

As leituras efetuadas no extensômetro estão apresentadas nas tabelas 15 e 16, e medem encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas. No gráfico de aferição do anel tem-se a correspondência entre as leituras efetuadas no extensômetro do anel e as cargas atuantes.

Tabela 15 – Ensaio de penetração – amostras 1 à 8

TEMPO (min)	LEITURA DAS AMOSTRAS(μm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	10,00	23,00	6,00	6,00	2,00	10,00	25,50	6,00
1,0	12,00	42,00	8,00	17,00	6,00	12,00	38,50	18,50
1,5	13,00	57,00	10,00	41,00	13,00	14,00	47,50	31,00
2,0	14,00	68,00	12,00	62,00	20,00	15,00	54,00	40,50
2,5	15,00	76,00	13,00	76,00	31,00	16,00	59,00	46,50
3,0	16,00	85,00	15,00	84,00	39,00	17,00	64,00	52,00
3,5	17,00	91,00	18,00	93,00	43,00	18,00	69,50	56,00
4,0	18,00	97,00	21,00	103,00	48,00	19,00	74,00	60,00
5,0	19,00	106,00	22,00	118,00	54,00	20,00	80,50	64,00
6,0	21,00	112,00	23,00	130,00	60,00	21,00	87,00	66,00
7,0	23,00	118,00	24,00	143,00	65,00	22,00	93,00	66,50
8,0	25,00	124,00	25,00	153,00	69,00	23,00	96,00	69,00
9,0	27,00	128,00	26,00	165,00	71,00	24,00	101,00	73,00
10,0	28,00	135,00	27,00	174,00	74,00	25,00	105,00	78,00

Fonte: Autores, 2013.

Tabela 16 – Ensaio de penetração – Amostras 9 à 16

TEMPO (min)	LEITURA DAS AMOSTRAS(μm)							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0,5	9,00	6,00	39,00	2,00	2,00	16,00	4,00	2,00
1,0	11,00	26,00	59,00	6,00	4,00	35,00	6,00	6,00
1,5	12,00	50,00	71,00	9,00	7,00	43,00	9,00	9,00
2,0	13,00	64,50	79,00	0,14	9,00	49,00	14,00	12,00
2,5	15,00	76,00	86,00	15,00	12,00	54,00	15,00	16,00
3,0	17,00	86,00	94,00	16,00	15,00	57,00	16,00	19,00
3,5	19,00	96,00	100,00	17,00	18,00	61,00	17,00	21,00
4,0	21,00	104,00	105,00	19,00	21,00	64,00	19,00	24,00
5,0	22,00	120,00	116,00	22,00	25,00	69,00	20,00	29,00
6,0	23,00	134,00	125,00	24,00	30,00	70,00	22,00	33,00
7,0	24,00	146,50	134,00	26,00	35,00	72,00	24,00	37,00
8,0	25,00	159,00	139,00	28,00	40,00	74,00	25,00	42,00
9,0	26,00	161,00	146,00	30,00	44,00	75,00	27,00	45,00
10,0	27,00	177,00	154,00	31,00	48,00	76,00	29,00	49,00

Fonte: Autores, 2013.

Com os dados obtidos no ensaio de penetração, traça-se a curva pressão-penetração. Caso exista um ponto de inflexão, demarca-se uma tangente à curva nesse ponto até que intercepte o eixo das abcissas; considera-se como curva corrigida essa tangente mais a porção convexa da curva original, mudando a origem para o ponto em que a tangente corta o eixo das abcissas. Tendo c a distância entre esse ponto à origem dos eixos, soma-se a essa distância c as abcissas dos pontos correspondentes as penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas. Com a curva traçada, obtêm-se os valores correspondentes das novas ordenadas, que representam os valores das pressões corrigidas para as penetrações referidas (NBR 9895, 1987).

Em porcentagem, o ISC, para cada corpo-de-prova, é dado pela equação 04 adotando para o ISC o maior dos valores obtidos nas penetrações 2,54 e 5,08 milímetros (NBR 9895, 1987).

$$ISC = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} \quad (\text{Eq. 04})$$

Os valores referentes ao ISC de cada amostra são apresentados na tabela 17, os valores destacados são referentes à recomendação da NBR 9895/1985, em

que deve ser adotado o maior dos valores obtidos nas penetrações 2,54mm e 5,08mm.

Tabela 17 – Valores do Índice de Suporte Califórnia

AMOSTRA	PENETRAÇÃO (mm)	PRESSÃO (MPa)		ISC(%)
		CALCULADA	PADRÃO	
1	2,54	0,14	6,90	2,0
	5,08	0,18	10,35	1,7
2	2,54	0,67	6,90	9,7
	5,08	0,96	10,35	9,3
3	2,54	0,12	6,90	1,7
	5,08	0,21	10,35	2,0
4	2,54	0,61	6,90	8,8
	5,08	1,02	10,35	9,9
5	2,54	0,20	6,90	2,9
	5,08	0,47	10,35	4,5
6	2,54	0,15	6,90	2,2
	5,08	0,19	10,35	1,8
7	2,54	0,53	6,90	7,7
	5,08	0,73	10,35	7,1
8	2,54	0,40	6,90	5,8
	5,08	0,59	10,35	5,7
9	2,54	0,13	6,90	1,9
	5,08	0,21	10,35	2,0
10	2,54	0,64	6,90	9,3
	5,08	1,03	10,35	10,0
11	2,54	0,78	6,90	11,3
	5,08	1,04	10,35	10,0
12	2,54	0,14	6,90	2,0
	5,08	0,19	10,35	1,8
13	2,54	0,09	6,90	1,3
	5,08	0,21	10,35	2,0
14	2,54	0,48	6,90	7,0
	5,08	0,63	10,35	6,1
15	2,54	0,14	6,90	2,0
	5,08	0,19	10,35	1,8
16	2,54	0,12	6,90	1,7
	5,08	0,24	10,35	2,3

Fonte: Autores, 2013.

Para o dimensionamento dos pavimentos, foi considerado o índice de suporte de menor valor, que como pode ser visto na tabela 18 é de 2%.

4.13 ÍNDICE DE SUPORTE (IS)

Segundo Senço (2007) o índice de suporte é uma relação entre o CBR e o IG, em que a semelhança é proposta pela média aritmética entre índice de suporte relativo ao CBR (IS_{CBR}) e o índice de suporte relativo ao IG (IS_{IG}), como mostra a equação 05.

$$IS = \frac{IS_{IG} + IS_{CBR}}{2} \quad (\text{Eq. 05})$$

Logo, pela equação 05 tem-se o valor de IS igual 11, tomando como valores para IS_{IG} igual a 20 e para IS_{CBR} igual a 2.

Contudo impõem-se a condição de que IS seja no máximo igual ao CBR, ou seja, quando o valor de IS resultar num índice superior ao IS_{CBR} , adota-se o valor do IS_{CBR} (SENÇO, 2007). Como o valor de IS calculado é a 11, maior que IS_{CBR} , então, considera-se o valor de IS igual a 2.

4.14 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

4.14.1 Pavimento Flexível

O dimensionamento de um pavimento é feito em função do número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, tratado nos cálculos como N, durante o período de projeto escolhido. O valor de N representa o número de passadas do eixo padrão sobre o pavimento em um período estimado de anos de utilização (DNIT, 2006).

A equação 06 abaixo permite calcular o valor de N em função de algumas variáveis (DNIT, 2006).

$$N = 365 \times V_m \times P \times FV \times FR \quad (\text{Eq. 06})$$

Sendo:

N: número equivalente de operações de eixo padrão durante o período de projeto escolhido.

V_m : volume médio diário de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto.

P: período de projeto ou vida útil em anos.

FV: fator de veículo

FR: fator climático regional

Assim, para a determinação do valor de N, primeiramente é necessário se calcular as variáveis que o compõe.

O cálculo do V_m depende da taxa de crescimento de tráfego para o período de projeto, taxa esta que deve considerar o crescimento histórico do tráfego na via a ser pavimentada (DNIT, 2006).

Contudo devido ao fato de ser uma via relativamente nova, não há um levantamento a respeito desta taxa, por tal motivo considerou-se o crescimento de tráfego para a via igual ao crescimento da frota de veículos da cidade de Pato Branco, que foi, entre os anos de 2011 e 2012, de 6,9% (FROTA, 2013).

A equação 07 mostra como obter o V_m .

$$V_m = \frac{V_1 + V_p}{2} \quad (\text{Eq. 07})$$

Sendo:

V_1 : tráfego no sentido mais solicitado, no primeiro ano do período de projeto, determinado através da equação 08.

V_p : tráfego no mesmo sentido de V_1 , no ultimo ano do período de projeto, determinado pela equação 09.

$$V_1 = V_0 \times \left(1 + \left(p \times \frac{t}{100} \right) \right) \quad (\text{Eq. 08})$$

$$V_p = V_1 \left(1 + \frac{t}{100} \times P \right) \quad (\text{Eq. 09})$$

Sendo:

V_0 : trafego diário médio no período de estudos e de construção, determinado pela equação 10.

p: número de anos necessário à execução das obras

t: taxa de crescimento linear do tráfego, em porcentagem ao ano.

$$V_0 = \frac{TMD \times D}{100} \quad (\text{Eq. 10})$$

Sendo:

TMD: tráfego médio diário, obtido através da soma de todos os veículos apresentados na tabela 10;

D: porcentagem do tráfego no sentido mais solicitado, considerado para este caso de 60%;

Primeiramente se calcula o V_0 , através da equação 10, considerando TMD igual a 423 e D igual a 60%, dessa forma é encontrado V_0 igual a 253,8, considerado para demais cálculos como 254.

Com o valor de V_0 é possível calcular o valor de V_1 , adotando p igual a 1 ano e t igual a 6,9%, dessa forma através da equação 5 é possível determinar V_1 igual a 271,5, considerado para efeitos de cálculo igual a 272.

Com estes valores e tendo o tempo de projeto considerado em 15 anos é possível calcular V_p através da equação 09, encontrando assim o valor de 554.

Com os resultado das equações 08 e 09, é possível determinar o V_m através da equação 07, a qual resulta em 413 veículos/dia.

Para que seja possível se determinar o valor de N , ainda é necessário obter o valor do fator de veiculo (FV), fator este que transforma o tráfego real que solicita o pavimento durante o período de projeto, em um tráfego equivalente de eixos padrão (DNIT, 2006).

O cálculo do FV depende ainda do produto dos valores de FC (fator de carga) e FE (fator de eixo), como mostra a equação 11.

$$FV = FC \times FE \quad (\text{Eq. 11})$$

É possível se determinar o valor de FC através do produto entre o Σ equivalência de operações e o Σ VMD (veic/dia), que seguem na tabela 18 abaixo.

Tabela 18 – Valores de Σ equivalência de operações e Σ VMD (veic/dia)

EIXO SIMPLES (Tf)	Nº DE EIXOS	VMD (Veic/dia)	FATOR DE EQUIVALÊNCIA (f)	EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES
6	1	8	0,2	1,6
6	2	2	0,2	0,4
10	1	8	3	24
TANDEM				
17	2	2	9	18
Σ VMD(veic/dia)		20	Σ equiv.operações	44

Fonte: Autores, 2013.

Para a determinação do FE é necessário conhecer a quantidade de veículos com quantidades específicas de eixos (DNIT, 2006). Dessa forma, a partir da tabela 09, montou-se a tabela 19 para facilitar a obtenção de dados, que serão empregados na equação 12.

Tabela 19 – Valores para cálculo de FE

Nº DE EIXOS	VMD(veic/dia)	%
2	327	99,09%
4	3	0,91%

Fonte: Autores, 2013.

$$FE = \left(\frac{p2}{100}\right) \times 2 + \left(\frac{p3}{100}\right) \times 3 + \dots + \left(\frac{pn}{100}\right) \times n \quad (\text{Eq. 12})$$

Sendo:

p2: porcentagem de veículos de 2 eixos;

p3: porcentagem de veículos de 3 eixos;

pn: porcentagem de veículos de n eixos.

Empregando-se os valores da tabela 20 na equação 12, determina-se o valor de FE.

Considerando os valores de FC e FE na equação 11, determina-se a o FV (fator de veículo), igual a 4,44.

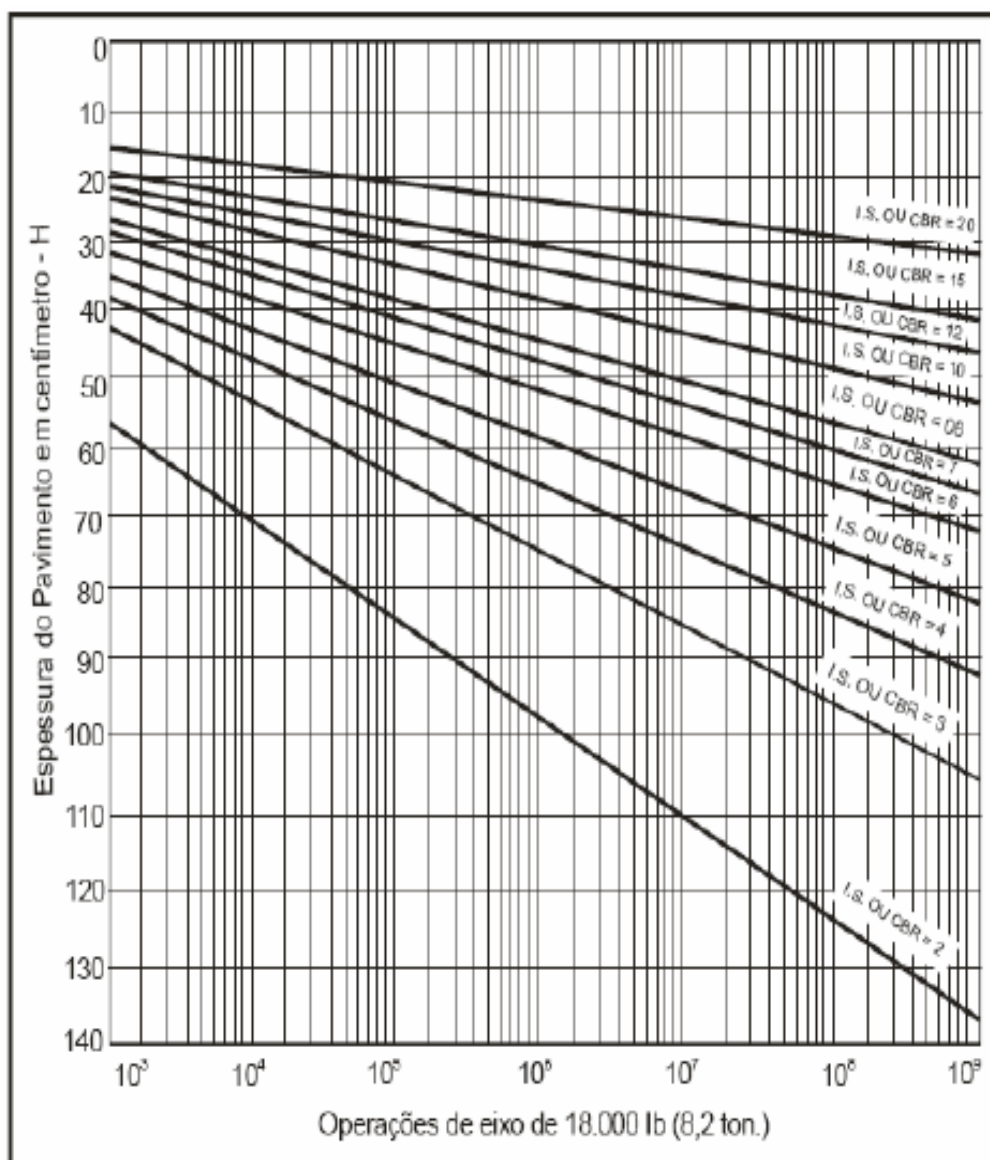
A determinação do fator de chuva FR depende altura média anual de chuva em milímetros, que para a cidade de Pato Branco, é de 2000 mm por ano (JABUR,

BENETTI, SILIPRANDI, 2011). Dessa forma segundo a tabela 8.4, do Manual de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT (2006), o FR é para o referido município igual a 1,8.

Com todas as variáveis pertinentes a determinação do N encontradas é possível afirmar que o numero de repetições de um eixo padrão durante o período de 15 anos é $1,81 \times 10^7$ operações.

Através do ábaco de dimensionamento, mostrado na figura 27, e de posse do Índice de Suporte do solo, pode-se então, dimensionar a espessura das camadas.

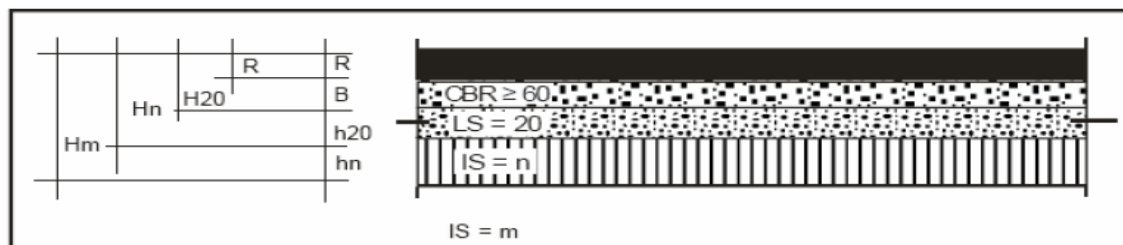
Figura 27 – Ábaco de dimensionamento dos pavimentos flexíveis.



Fonte: DNIT, 2006.

As camadas a serem determinadas pelo ábaco são o revestimento, a base, a sub-base e o reforço, representadas pelas nomenclaturas R, B, h20 e hn, respectivamente, conforme mostra a figura 28.

Figura 28 – Camadas do pavimento flexível.



Fonte: DNIT, 2006.

Admite-se que os materiais utilizados nas camadas são iguais quanto ao comportamento estrutural, correspondendo a um coeficiente de equivalência K igual a 1.

Toma-se como Índice de Suporte, o menor dos valores calculados para as 16 amostras, ou seja, a pior situação que possa existir, assim traça-se a vertical pelo valor encontrado de N anteriormente, e no cruzamento com o IS, obtêm-se o valor do Hm, que é a espessura total do pavimento, ou seja, o somatório da espessura do revestimento, base, sub-base e do reforço (DNIT, 2006).

Com N igual $1,81 \times 10^7$, e IS igual a 2, assume-se o valor de Hm igual a 112 cm.

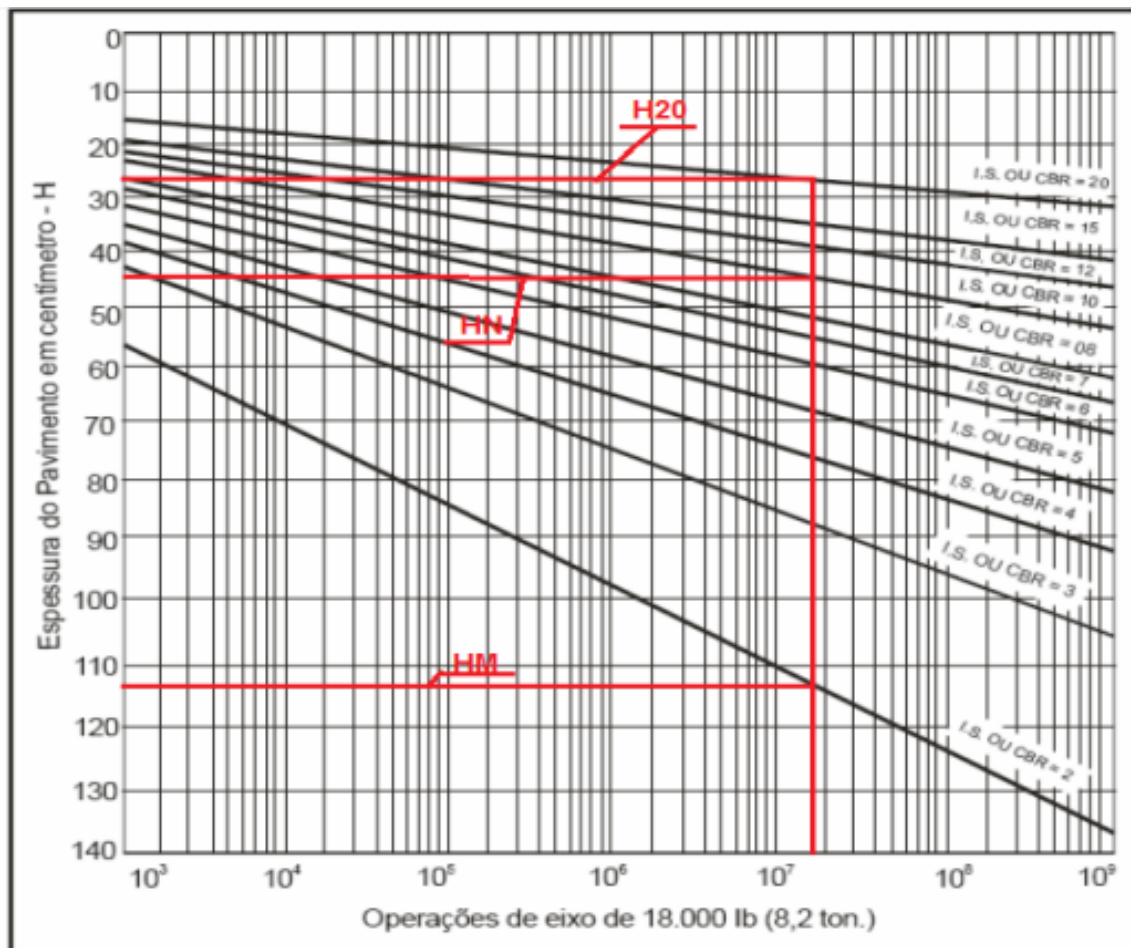
De modo análogo, dimensionou-se a espessura necessária de pavimento acima do reforço, Hn, que compreende somatória das espessuras do revestimento, da base e da sub-base. Para isso foi adotado IS igual a 10, uma vez que há materiais disponíveis nas proximidades do local estudado, obtendo assim, uma espessura igual a 44 cm.

Para determinar a espessura necessária de pavimento acima da sub-base H20, ou seja, a somatória das espessuras do revestimento e da base, toma-se IS igual a 20 que é o mínimo admissível. Assim, têm-se H20 igual a 27 cm.

O revestimento é dimensionado de acordo com a tabela 8.8 do Manual de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT (2006), que para valores de N entre 10^7 e 5×10^7 , tem-se revestimento mínimo de 10 cm para revestimentos betuminosos (SENÇO, 2007).

A figura 29 mostra o dimensionamento de H_M, H_N e H₂₀ pelo ábaco de dimensionamento.

Figura 29 – Dimensionamento do H_M, H_N e H₂₀ pelo ábaco de dimensionamento.



Fonte: Adaptado de DNIT, 2013.

Os coeficientes de equivalência estrutural de revestimento, base, sub-base e reforço são K_R, K_B, K_S e K_n, respectivamente. Para K_R adota valor igual a 2, para base ou revestimento de concreto betuminoso; para K_B e K_S, adotou-se o valor igual a 1 e 0,77, respectivamente, para base e sub-base granular; e por último, K_n igual a 0,71. Todos os valores foram adotados conforme tabela 8.5 do Manual de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT (2006).

Determina-se a espessura da base B, através da equação 13.

$$H_{20} = (R \times K_R) + (B \times K_B) \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

$R \times K_R$ = espessura equivalente do revestimento (10 x 2);

$B \times K_B$ = espessura equivalente da base (B x 1);

H_{20} = espessura acima da sub-base (27 cm).

Logo, fazendo as devidas operações matemáticas, e substituindo os valores já determinados anteriormente, chega-se ao valor de B igual a 7 cm. Porém, o mínimo admissível é de 10 cm, assim adota-se para o valor de B igual a 10cm (DNIT, 2006).

De modo análogo, determina-se a espessura da camada de sub-base h_{20} , através da equação 14.

$$H_N = (R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) \quad (\text{Eq. 14})$$

Sendo:

$R \times K_R$ = espessura equivalente do revestimento (10 x 2);

$B \times K_B$ = espessura equivalente da base (10 x 1);

$h_{20} \times K_S$ = espessura da sub-base ($h_{20} \times 0,77$);

H_N = espessura acima da camada de reforço (44 cm).

Assim, fazendo as devidas operações matemáticas, e substituindo os valores já encontrados, têm-se h_{20} igual a 19 cm de espessura.

Por último, obtêm-se a espessura da camada de reforço do subleito h_n , pela equação 15.

$$H_M = (R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) + (h_n \times K_n) \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

$R \times K_R$ = espessura equivalente do revestimento (10 x 2);

$B \times K_B$ = espessura equivalente da base (10 x 1);

$h_{20} \times K_S$ = espessura da sub-base (19 x 0,77);

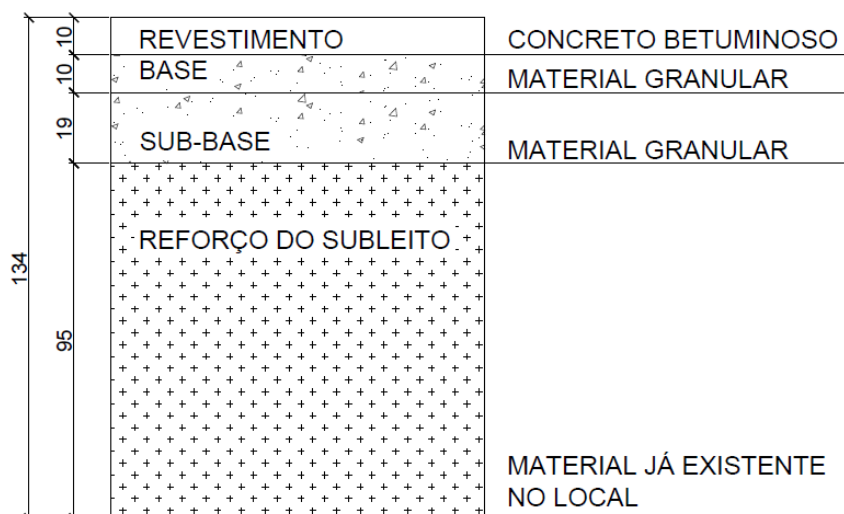
$h_n \times K_n$ = espessura do reforço do subleito ($h_n \times 0,71$);

H_M = espessura total do pavimento (112 cm).

Respeitando as devidas operações matemáticas, determina-se o valor de h_n igual a 95 cm.

Após a realização dos cálculos necessários para o dimensionamento das camadas, têm-se o detalhamento do pavimento, com as dimensões em centímetros e o material a ser colocado, conforme figura 30.

Figura 30 – Detalhamento do pavimento flexível.



Fonte: Autores, 2013.

4.14.2 Pavimento Rígido

O método de dimensionamento de pavimentos rígidos é feito pelo método da *Portland Cement Association* – PCA, que considera a tração na flexão de uma placa de concreto submetida a certos esforços, estas solicitações são tratadas como consumo de resistência a fadiga (CRF), quando o pavimento é submetido a cargas repetidas do tráfego durante o período de projeto (TROMBETTA, 2010).

A tabela 20 mostra relação o numero de repetições necessárias para que haja a ruptura por fadiga e a razão entre a tensão de tração na flexão e o módulo de ruptura do concreto.

Tabela 20 – Tensões e número de repetições

(continua)

RELAÇÃO DE TENSÕES	Nº ADMISSÍVEL DE REPETIÇÕES DE CARGA	RELAÇÃO DE TENSÕES	Nº ADMISSÍVEL DE REPETIÇÕES DE CARGA
0,50	ILIMITADO	0,68	3.500,00
0,51	400.000,00	0,69	2.500,00
0,52	300.000,00	0,70	2.000,00
0,53	240.000,00	0,71	1.500,00
0,54	180.000,00	0,72	1.100,00
0,55	130.000,00	0,73	850,00

Tabela 20 – Tensões e número de repetições

(conclusão)

RELAÇÃO DE TENSÕES	Nº ADMISSÍVEL DE REPETIÇÕES DE CARGA	RELAÇÃO DE TENSÕES	Nº ADMISSÍVEL DE REPETIÇÕES DE CARGA
0,56	100.000,00	0,74	650,00
0,57	75.000,00	0,75	490,00
0,58	57.000,00	0,76	360,00
0,59	42.000,00	0,77	270,00
0,60	32.000,00	0,78	210,00
0,61	24.000,00	0,79	160,00
0,62	18.000,00	0,80	120,00
0,63	14.000,00	0,81	90,00
0,64	11.000,00	0,82	70,00
0,65	8.000,00	0,83	50,00
0,66	6.000,00	0,84	40,00
0,67	4.500,00	0,85	30,00

Fonte: Autores, 2013.

Analisando-se os valores desta tabela, concluiu-se que na relação 0,60, por exemplo, a carga de roda que provoca na placa a tensão igual a 0,61 do módulo de ruptura do concreto, quando aplicada por 24.000 vezes deverá provocar o rompimento da placa por fadiga.

O método do PCA apresenta a particularidade de uma espessura estimada da placa de concreto e o dimensionamento consiste em verificar se esta espessura é suficiente, em face ao consumo da resistência à fadiga provocada pelos diversos tipos de veículos (TROMBETTA, 2010).

O volume total V_t de tráfego no período de projeto P é determinado através da equação 16.

$$V_t = 365 \times P \times V_m \quad (\text{Eq. 16})$$

Sendo:

P : período de projeto ou vida útil em anos, igual a 15 anos;

V_m : volume médio diário de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto, igual 423.

Dessa forma encontra-se o valor de V_t igual a $2,32 \times 10^6$.

Após a determinação do volume total do tráfego para o período de projeto, pode-se calcular o número de eixos solicitantes para cada classe de veículos, através da equação 14.

A classe de veículos se refere à de passageiros, caminhões leves e pesados, furgões, ônibus, reboques e semi-reboques.

O número de eixos solicitantes por classe será dado pela equação 17:

$$n_i = \frac{V_t \times P_i \times FE}{100} \quad (\text{Eq. 17})$$

Sendo:

n_i = número de eixos solicitantes dos veículos de classe i ;

P_i = porcentagem dos veículos de classe i em relação a V_t , considerados os valores da tabela 20;

FE = fator de eixo, considerado igual a 2, de acordo com Senço (2007). Dessa forma encontra-se o valor de n para veículos de dois eixos igual a $4,5 \times 10^6$, e para veículos com quatro eixos igual a $0,04 \times 10^6$.

Na sequência, calcula-se para cada classe i de veículos a frequência das cargas por eixo j , conforme a equação 18:

$$n_{ij} = \frac{P_{ij} \times n_i}{100} \quad (\text{Eq. 18})$$

Sendo:

n_{ij} : número de eixos solicitantes dos veículos de classe i e de carga por eixo j ;

P_{ij} : porcentagem dos veículos de classe i que tem carga por eixo j ;

Após os cálculos referentes aos tipos de veículos, levantados para a via estudada, obtêm-se: 218.104 repetições para o eixo de 6 toneladas, 178.104 repetições para o eixo de 10 toneladas e 40.000 repetições para o eixo tandem duplo de 17 toneladas.

O método do PCA estabelece uma correlação entre o CBR do solo, e o coeficiente de recalque (k), como mostra a tabela 21, ou o ábaco da figura 31.

Tabela 21 – Correlação CBR (%) x k (kgf/cm²/cm)

(continua)

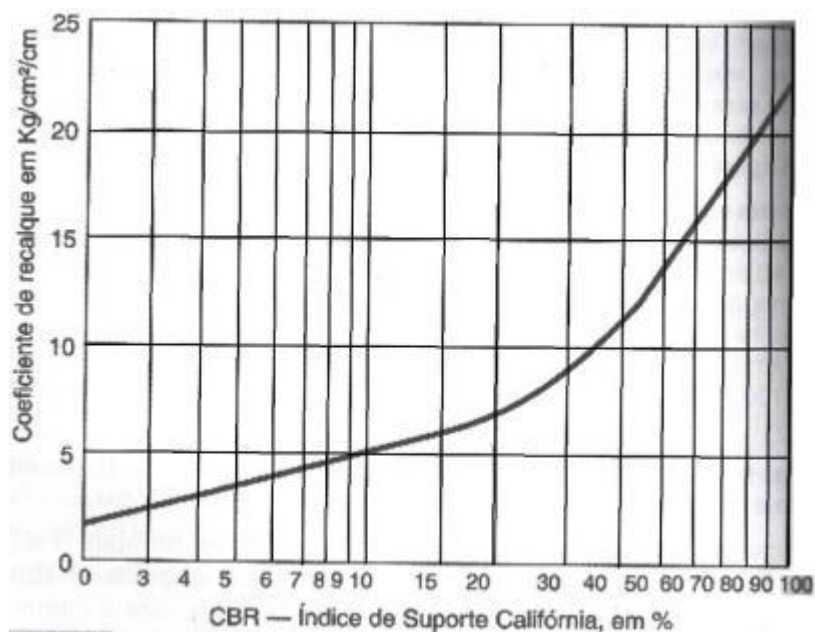
CBR (%)	k (kgf/cm ² /cm)
3	2,77
4	3,32
5	3,87

Tabela 21 – Correlação CBR (%) x k (kgf/cm²/cm)
(conclusão)

CBR (%)	k (kgf/cm ² /cm)
6	4,43
7	4,71
8	5,00
9	5,26
10	5,54
15	6,37
20	6,92
30	9,14
40	11,63
50	13,85
60	16,07
80	19,39
100	22,16

Fonte: Trombetta, 2010.

Figura 31 – Ábaco de correlação entre CBR (%) e k (kgf/cm²/cm).



Fonte: Trombetta, 2010.

Dessa forma, considerando o CBR de 2% encontra-se um k igual a 2,10, sendo este valor que será utilizado.

Para a determinação do coeficiente de recalque no topo da sub-base utilizou-se a tabela da figura 32, onde considerou-se a espessura de 15 cm, assim encontrou-se o valor de $k = 2,70 \text{ kgf/cm}^2/\text{cm}$.

Figura 32 – Aumento dos valores de k em função da sub-base.

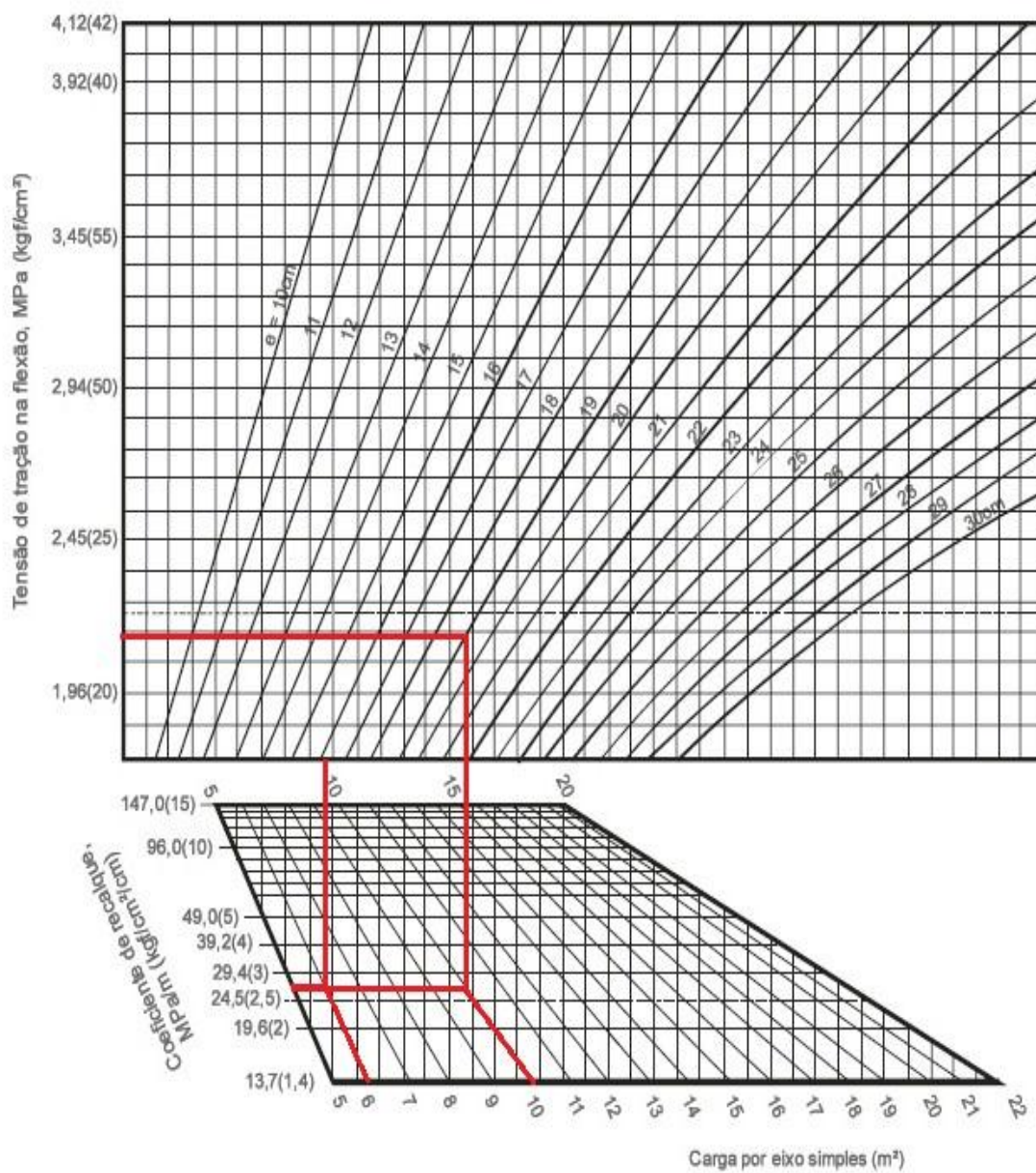
CBR (%)	Coeficiente de recalque do subleito (kgf/cm ² /cm)	k = coeficiente de recalque no topo da sub-base (kgf/cm ² /cm)												
		Sub-base granular				Sub-base tratada com cimento				Sub-base de solo-cimento				
		Espessura de sub-base (cm)												
		10,0	15,0	20,0	30,0	10,0	12,5	15,0	20,0	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
2	2,10	2,25	2,70	3,15	4,25	4,20	5,10	6,10	7,80	6,50	7,10	9,50	11,00	12,10
3	2,77	3,10	3,60	4,10	5,35	5,85	6,75	8,00	10,30	8,40	9,65	12,00	13,75	15,50
4	3,32	3,65	4,20	4,75	6,05	6,60	7,70	9,00	11,50	9,50	11,10	13,75	15,50	17,70
5	3,87	4,20	4,80	5,35	6,75	7,45	8,50	9,90	12,55	10,40	12,15	15,25	17,00	19,90
6	4,43	4,85	5,35	6,00	7,40	8,10	9,50	11,00	14,00	11,30	13,40	16,75	18,60	21,90
7	4,71	5,20	5,65	6,25	7,70	8,70	10,00	11,55	14,75	11,75	13,90	17,45	19,20	22,80
8	5,00	5,40	5,85	6,50	8,00	9,05	10,35	12,00	15,25	12,20	14,35	18,10	19,95	> 22,80
9	5,26	5,70	6,20	6,80	8,30	9,50	10,80	12,50	16,00	12,65	14,85	18,70	20,55	> 22,80
10	5,54	6,00	6,45	7,15	8,60	9,80	11,30	13,00	16,50	13,05	15,50	19,40	21,25	> 22,80
15	6,37	6,75	7,30	8,00	9,50	11,00	12,70	14,50	18,30	> 13,05	> 15,50	> 19,40	> 21,25	> 22,80
20	6,92	7,30	7,85	8,55	10,05	11,85	13,65	15,50	19,55	> 13,05	> 15,50	> 19,40	> 21,25	> 22,80

Fonte: Adaptado de Trombetta, 2013.

Para o dimensionamento da espessura da camada de revestimento do pavimento é necessário determinar o número de repetições permissíveis, sabe-se que para uma relação σ_t/MR igual ou inferior a 0,50 o número de operações permissíveis é ilimitado, com isso as cargas que produzem tensões iguais ou inferiores a metade do módulo de ruptura não fazem parte do dimensionamento, no entanto para diferentes tensões haverá diferentes relações σ_t/MR , e com isso diferentes consumos de resistência a fadiga e conseqüentemente diferentes números de repetições permissíveis.

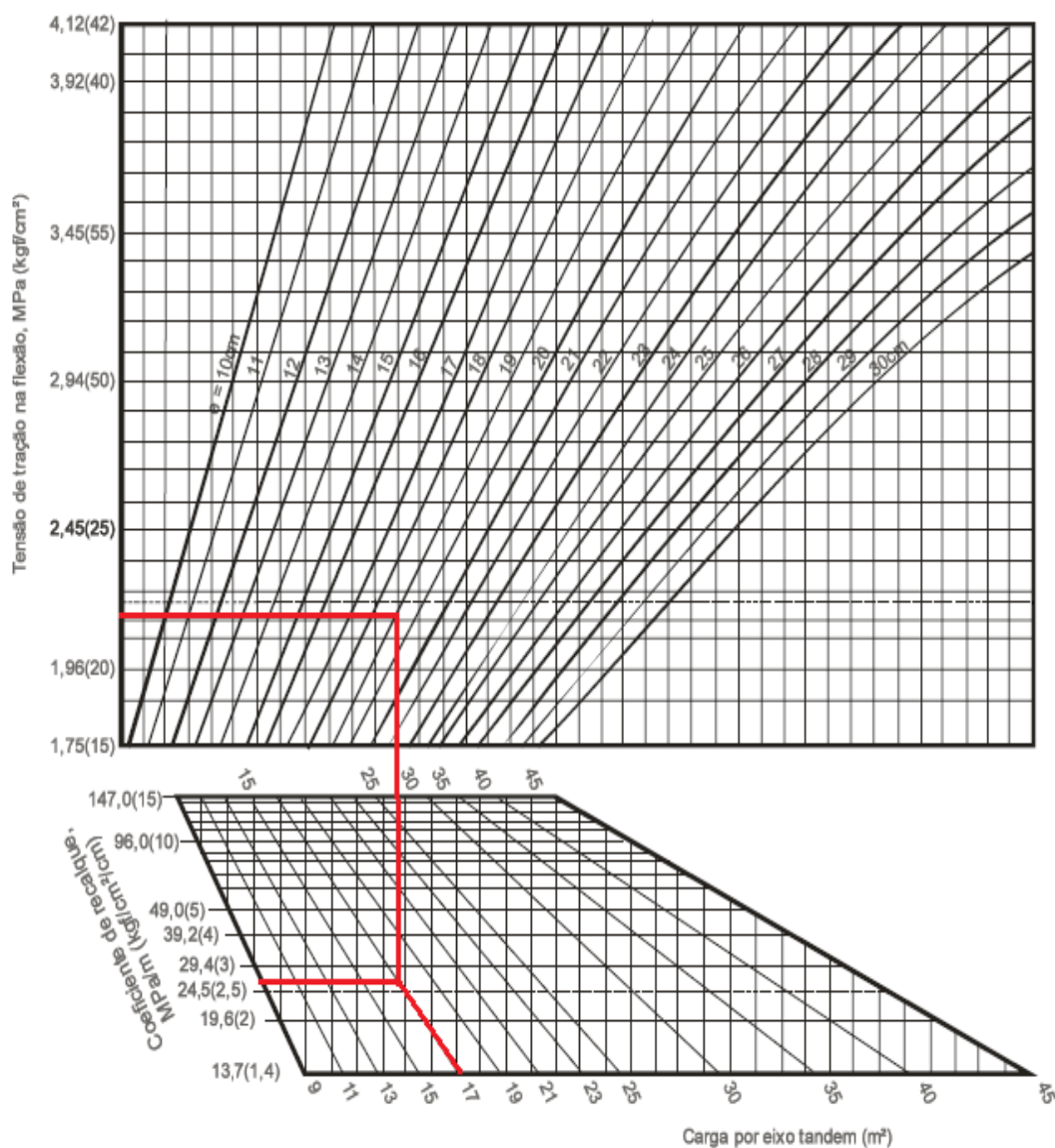
Nos ábacos de Pickett e Ray, referentes aos eixos simples e tandem duplos, mostrados nas figuras 33 e 34, respectivamente, é possível determinar a tensão de tração imposta ao pavimento de acordo com a sua espessura, coeficiente de recalque no topo da sub-base e carga do eixo.

Figura 33 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos rodoviários – eixos simples.



Fonte: DNIT, 2004.

Figura 34 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos rodoviários – eixos tandem duplos.



Fonte: DNIT, 2004.

A tabela 22 foi feita com o intuito de verificar o consumo de resistência a fadiga de um pavimento com sub base de 15 cm e revestimento em concreto com 19 cm, sendo que esta deve atender para o MR de 42 kgf/cm² aos 28 dias um CRF de no máximo 125%.

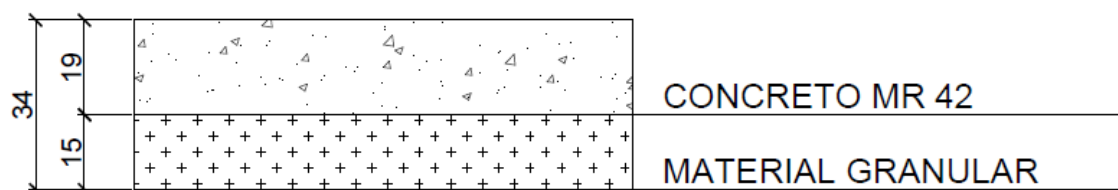
Atendido o requisito evidenciado anteriormente o pavimento rígido terá sub-base de 15 cm e revestimento de concreto de 19 cm, conforme especificações adotadas em cálculo, ilustrada na figura 35.

Tabela 22 – Cálculo de consumo de resistência à fadiga (CRF)

h = 19cm / MR28 = 42 kgf/cm² / k = 2,70kgf/cm²/cm / FSC = 1,1						
CARGA/ EIXO (Tf)	CARGA/EIXO CORRIGIDA (Tf)	σ_t (Kgf/cm²)	σ_t/MR28	N° REP. PERMIS.	N° DE REP. PREV.	CRF (%)
EIXO SIMPLES						
6,00	6,60	<20	<0,50	ILIMITADO	218.104,00	0,00%
10,00	11,00	23,00	0,55	240.000,00	178.104,00	74,21%
EIXO TANDEM DUPLA						
17,00	18,70	22,50	0,54	180.000,00	40.000,00	22,22%
					TOTAL	96,43%

Fonte: Autores, 2013.

Figura 35 – Detalhamento do pavimento rígido.



Fonte: Autores, 2013.

4.15 ORÇAMENTO

Para a orçamentação dos processos construtivos neste trabalho, foi considerado que a via terá em dimensão final 12 metros de largura por 1.600 metros de comprimento. Ainda para a realização do orçamento foram consideradas composições da TCPO – Tabela de Composição de Preços Para Orçamentos do ano de 2010, preços da SICRO – Sistema de Custos Rodoviários do ano de 2012 e da SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do ano de 2013. A tabela 23 apresenta o orçamento referente ao pavimento flexível, e a tabela 24 apresenta tabela referente ao pavimento rígido.

Tabela 23 – Orçamento pavimento flexível

(continua)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
1	ESCARIFICAÇÃO, escavação e remoção de terra até 1km - 5760 M³					R\$ 96.715,07
1.1	Trator de esteiras, potencia 185HP-lâmina de 9,93m ³ -vida útil 8.000H	h prod.	0,019	109,44	R\$ 398,19	R\$ 43.577,91
1.2	Carregadeira sobre rodas 211HP, capacidade da caçamba de 3,30m ³ -vida útil 8.000H	h prod.	0,020	115,20	R\$ 189,64	R\$ 21.846,53
1.3	Caminhão basculante, potencia 167HP, caçamba 5m ³ , vida útil 8.000H	h prod.	0,060	345,60	R\$ 90,54	R\$ 31.290,62
2	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO - 5760 M³					R\$ 18.418,18
2.1	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162 HP, capacidade 5.000L - vida útil 8.000H	h prod.	0,010	57,60	R\$ 87,71	R\$ 5.052,10
2.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potencia 150HP, peso operacional 11,60T - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	28,80	R\$ 114,19	R\$ 3.288,67
2.3	Trator sobre pneus, potencia 92HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,010	57,60	R\$ 66,85	R\$ 3.850,56
2.4	Grade de disco rebocável 3,50m-vida útil 20.000H	h prod.	0,010	57,60	R\$ 2,58	R\$ 148,61

Tabela 23 – Orçamento pavimento flexível

(continua)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
2.5	Motoniveladora sobre pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	28,80	R\$ 151,30	R\$ 4.357,44
2.6	Rolo compactador estático de pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	28,80	R\$ 59,75	R\$ 1.720,80
3	REFORÇO DO SUB LEITO - 18240 M³					R\$ 131.920,44
3.1	Caminhão basculante, potencia 167HP, caçamba 5m ³ , vida útil 8.000H	h prod.	0,042	766,08	R\$ 90,54	R\$ 69.360,88
3.2	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162 HP, capacidade 5.000L - vida útil 8.000H	h prod.	0,010	182,40	R\$ 87,71	R\$ 15.998,30
3.3	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potencia 150HP, peso operacional 11,60T - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	91,20	R\$ 114,19	R\$ 10.414,13
3.4	Trator sobre pneus, potencia 92HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,010	182,40	R\$ 66,85	R\$ 12.193,44
3.5	Grade de disco rebocável 3,50m-vida útil 20.000H	h prod.	0,100	1824,00	R\$ 2,58	R\$ 4.705,92
3.6	Motoniveladora sobre pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	91,20	R\$ 151,30	R\$ 13.798,56
3.7	Rolo compac. estático de pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	91,20	R\$ 59,75	R\$ 5.449,20

Tabela 23 – Orçamento pavimento flexível

(continua)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
4	SUB BASE GRANULAR - 4800 M³					R\$ 155.298,83
4.1	Rachão	m ³	1,050	3830,40	R\$ 40,00	R\$ 153.216,00
4.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potencia 150HP, peso operacional 11,60T - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	18,24	R\$ 114,19	R\$ 2.082,83
5	BASE GRANULAR - 1920 M³					R\$ 91.602,24
5.1	Brita graduada	m ³	1,050	2016,00	R\$ 40,00	R\$ 80.640,00
5.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potencia 150HP, peso operacional 11,60T - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	96,00	R\$ 114,19	R\$ 10.962,24
6	IMPRIMAÇÃO - 19200 M²					R\$ 26.523,46
6.1	Emulsão asfáltica tipo RR2C	kg	0,800	15360,00	R\$ 1,02	R\$ 15.667,20
6.2	Caminhão espargidor com bomba, 167HP, capacidade 6.000L - vida útil 8.000H	h prod.	0,003	57,60	R\$ 87,71	R\$ 5.052,10
6.3	Vassoura mecanica rebocável 2,44m - vida útil 8.000H	h prod.	0,002	38,40	R\$ 84,30	R\$ 3.237,12
6.4	Trator sobre pneus, potencia 92HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,002	38,40	R\$ 66,85	R\$ 2.567,04
7	CONCRETO BETUMINOSO - 1440 M³					R\$ 865.831,49
7.1	Concreto betuminoso	t	2,430	4665,86	R\$ 160,50	R\$ 748.828,80

Tabela 23 – Orçamento pavimento flexível

(conclusão)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
7.2	Vibroacabadora sobre esteiras, potencia 77HP - vida útil 20.000H	h prod.	0,068	130,56	R\$ 138,15	R\$ 18.036,86
7.3	Carregadeira sobre rodas 211HP, capacidade da caçamba de 3,30m ³ -vida útil 8.000H	h prod.	0,070	134,40	R\$ 189,64	R\$ 25.487,62
7.4	Rolo compactador estático de pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,068	130,56	R\$ 59,75	R\$ 7.800,96
7.5	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162 HP, capacidade 5.000L - vida útil 8.000H	h prod.	0,390	748,80	R\$ 87,71	R\$ 65.677,25
					TOTAL	R\$ 1.386.309,69

Fonte: Autores, 2013.

Tabela 24 – Orçamento pavimento rígido

(continua)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
1	ESCARIFICAÇÃO, escavação e remoção de terra até 1km - 5760 M³					R\$ 96.715,06
1.1	Trator de esteiras, potencia 185HP- lâmina de 9,93m ³ -vida útil 8.000H	h prod.	0,019	109,44	R\$ 398,19	R\$ 43.577,91
1.2	Carregadeira sobre rodas 211HP, capacidade da caçamba de 3,30m ³ -vida útil 8.000H	h prod.	0,020	115,20	R\$ 189,64	R\$ 21.846,53

Fonte: Autores, 2013.

Tabela 24 – Orçamento pavimento rígido

(continua)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
1.3	Caminhão basculante, potencia 167HP, caçamba 5m ³ , vida útil 8.000H	h prod.	0,060	345,60	R\$ 90,54	R\$ 31.290,62
2	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO - 5760 M³					R\$ 18.418,18
2.1	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162 HP, capacidade 5.000L - vida útil 8.000H	h prod.	0,010	57,60	R\$ 87,71	R\$ 5.052,10
2.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potencia 150HP, peso operacional 11,60T - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	28,80	R\$ 114,19	R\$ 3.288,67
2.3	Trator sobre pneus, potencia 92HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,010	57,60	R\$ 66,85	R\$ 3.850,56
2.4	Grade de disco rebocável 3,50m-vida útil 20.000H	h prod.	0,010	57,60	R\$ 2,58	R\$ 148,61
2.5	Motoniveladora sobre pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	28,80	R\$ 151,30	R\$ 4.357,44
2.6	Rolo compactador estático de pneus 135HP - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	28,80	R\$ 59,75	R\$ 1.720,80
3	SUB BASE GRANULAR - 2880 M³					R\$ 122.604,34
3.1	Rachão	m ³	1,050	3024,00	R\$ 40,00	R\$ 120.960,00

Fonte: Autores, 2013.

Tabela 24 – Orçamento pavimento rígido

(conclusão)

ITEM	INSUMO	UN.	ÍNDICE	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
3.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potencia 150HP, peso operacional 11,60T - vida útil 8.000H	h prod.	0,005	14,40	R\$ 114,19	R\$ 1.644,34
4	CONCRETO MR28 = 42kgf/cm² - 3648 M³					R\$ 1.679.154,05
4.1	Concreto para pavimentos MR28 = 42kgf/cm ²	m ³	1,020	3720,96	R\$ 379,16	R\$ 1.410.839,19
4.2	Pedreiro	h	0,200	729,60	R\$ 12,73	R\$ 9.287,81
4.3	Servente	h	1,100	4012,80	R\$ 9,85	R\$ 39.526,08
4.4	Armador	h	0,020	72,96	R\$ 12,73	R\$ 928,78
4.5	Espaçador tipo caranguejo	kg	0,012	43,78	R\$ 20,00	R\$ 875,60
4.6	Tratamento de juntas	m	5,260	19188,48	R\$ 3,61	R\$ 69.270,41
4.7	Barras de transferência	kg	14,030	51181,44	R\$ 2,90	R\$ 148.426,18
					TOTAL	R\$ 1.916.891,63

Fonte: Autores, 2013.

Para a composição orçamentária, foram considerados apenas os serviços específicos para cada um dos dois métodos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi comparar qual o tipo de pavimento, rígido ou flexível, apresentaria maiores vantagens técnicas e econômicas para a aplicação no trecho da Rua Tocantins, compreendida entre as Ruas Abel Bortot e Artibano Sutile.

Para alcançar esses objetivos foram necessários vários estudos em campo e ensaios em laboratórios, que foram desde a contabilização de tráfego, coleta de amostras de solo, caracterização do solo até a fase final de dimensionamento dos pavimentos e seus respectivos orçamentos.

Para o levantamento de tráfego foi encontrada dificuldade com relação a taxa de crescimento no tráfego na região estudada, devido a falta de estudos específicos. Para tanto foram feitas considerações para ter melhor tratamento de dados possível.

Os ensaios de caracterização do solo apresentaram variação significativa nos dados, situação que pode ser justificada pela condição do trecho analisado, que apresenta locais de movimentação de terra, e provavelmente estas movimentações tenham modificado as características do solo em alguns pontos. Contudo, seguindo das boas práticas da engenharia, foram considerados os valores sempre em função da segurança.

A fim de equalizar a análise da viabilidade técnica e econômica, optou-se por materiais disponíveis na cidade de Pato Branco. Para o material de reforço do subleito, no caso do pavimento flexível, optou-se por utilizar o material das amostras 10 e 11, com Índice de Suporte Califórnia maiores que 10 %.

Os valores referências para a realização da planilha orçamentária já incluem o valor de benefícios e despesas indiretas (BDI) como também os valores de encargos sociais.

Analisando-se as tabelas de orçamento encontram-se os valores de R\$ 1.386.309,69 para o pavimento flexível e R\$ 1.916.861,63 para o pavimento rígido. Diferença de R\$ 530.551,94, demonstrando que para esta situação o pavimento rígido é 38% mais caro que o pavimento flexível.

Deve-se atentar para a análise a longo prazo dos pavimentos, uma vez que apesar de apresentar maior valor de execução, o pavimento rígido apresenta algumas vantagens se comparado ao pavimento flexível. Tais como estruturas

delgadas, ou seja, enquanto o pavimento flexível tem estruturas mais espessas e múltiplas camadas, o que requer maior movimentação de terra, o pavimento rígido é composto por apenas duas camadas, como visto no dimensionamento com uma altura final de 134 cm para o pavimento flexível, enquanto o pavimento rígido possui uma espessura final de 34 cm.

Outras vantagens do pavimento rígido sobre o flexível é a resistência a ataques químicos como óleos, graxas e combustíveis; maior distância de visibilidade horizontal, principalmente noturna, o que proporciona maior segurança aos usuários; menor necessidade de manutenção, o que mantém o fluxo sem interrupções; maior vida útil, enquanto o pavimento flexível tem sua vida útil entre 10 e 20 anos, o pavimento rígido possui vida útil mínima de 20 anos (BIANCHI, BRITO, CASTRO, 2008).

O pavimento flexível menor investimento inicial, conforme citado anteriormente, R\$ 530.551,94 a menos que o pavimento rígido, contudo o pavimento flexível notavelmente requer valores para mantê-lo em condições satisfatórias de uso. Assim para ter a real noção da viabilidade econômica da aplicação do pavimento flexível, recomenda-se aplicar a diferença de investimento entre os dois pavimentos numa atividade de conservação e restauração anual para o ciclo de vida de 15 anos, sendo o valor anual reajustado segundo a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia – Selic, que é o índice pelo qual as taxas de juros cobradas pelo mercado se balizam no Brasil (RECEITA FEDERAL, 2013), que segundo dados do Banco Central do Brasil (BCB), a taxa Selic para o ano de 2013, período compreendido entre agosto de 2012 e agosto de 2013, é de 8,4% a.a.

Para estabelecer a efetiva vantagem econômica do pavimento flexível em relação ao rígido deveria implementar um sistema de monitoramento da via e em função da sua serventia aplicar medidas de conservação e restauração. No final da vida útil deve-se comparar os gastos com manutenção e os recursos disponíveis, e se os gastos com manutenção forem maiores que os recursos disponíveis, o pavimento flexível mostra-se inviável para a via. Se o apresentar resultado contrário têm-se que o pavimento flexível é economicamente viável.

O histórico de pavimentação em vias urbanas na cidade de Pato Branco preza pela pavimentação flexível, sendo pouco difundido o processo de pavimentação rígida.

REFERÊNCIAS

ALBANO, João F. **Hierarquia e classificação funcional de vias rurais e urbanas**. Tópicos avançados em vias rurais e urbanas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em:<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/494_05_hierarquia_e_classificacao_viaria.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5734**: peneiras para ensaio com telas de tecido metálico – especificação. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: solo – índice de suporte califórnia. Rio de Janeiro, 1987.

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

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Consulta à taxa Selic diária**. Disponível em:<<http://www.bcb.gov.br/?SELICDIA>>. Acesso em: 3 ago. 2013.

BAPTISTA, Cyro N. **Pavimentação: tomo 1**. Ensaio fundamentais para a pavimentação – dimensionamentos dos pavimentos flexíveis. 3ª ed. Porto Alegre: Globo, 1978.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica** – formação básica para engenheiros. 3ª ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BIANCHI, Flavia R.; BRITO, Isis R. T.; CASTRO, Veronica A. B. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Espírito Santo: Associação de Ensino Superior Unificado Centro Leste – UCL, 08 set. 2008. Disponível em:<http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/ISIS_RAQUEL.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2013.

BRASIL. Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes. Brasil: Ministério dos Transportes, 1965.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – fundamentos**. 6ª ed. Volume 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.

DAVILLA, CELIO. **Plasticidade e Consistência dos Solos**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Disponível em: <ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Transportes/CelioDavilla/Solos/Literatura%20complementar/Notas%20de%20aula/unidade_4.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Método de dimensionamento de pavimento flexível pelo método do DNER**. Rio de Janeiro: 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3ª ed. Rio de Janeiro: 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentos rígidos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: 2006.

FARIA, Eloir de O. **História dos transportes terrestres no mundo**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.transitocomvida.ufrj.br/download/Hist%C3%B3ria%20dos%20transportes%20terrestres.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

FERREIRA, Aurélio B. de H. **Minidicionário da língua portuguesa**. 6ª ed. Curitiba: Positivo, 2004.

FORTES, Rita M. **Compactação**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2004. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/pavimento/PDF/Compactacao.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

FROTA de veículos em Pato Branco. Diário do Sudoeste, Pato Branco, 6 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.agenciasudoeste.org.br/notindividual.asp?id=170>>. Acesso em: 6 jun. 2013.

GOLDNER, Lenise G. **Engenharia de tráfego – módulo 1**. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis: 2008.

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA. **Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou CBR**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/pavimento/PDF/Capacidade%20de%20Suporte%20CBR.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE PATO BRANCO (Pato Branco, PR). **Mapa urbano**. Pato Branco: 2012.

JABUR, Andrea S.; BENETTI, Heloiza P.; SILIPRANDI, Elizangela M. **Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7. 2011, Rio de Janeiro. JÚNIOR, Fernando A. **Manual de pavimentação urbana**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992.

NABESHIMA, Cinthia K. Y.; ORSOLIN, Kátia; SANTOS, Rafael K. X. dos. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbanas baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto intertravados (pavers)**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba: 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/386/1/CT_EPC_2011_2_02.PDF>. Acesso em: 12 abr. 2013.

PINTO, Carlos de S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RECEITA FEDERAL. **Taxa de juros Selic**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/pagamentos/jrselic.htm>>. Acesso em; 03 ago. 2013.

RODOVIAS...São Paulo: Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada – Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/rodovias.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Indústria. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paula S.A – IPT. **Estradas vicinais de terra**: manual técnico para conservação e recuperação. 2ª ed. São Paulo: 1988.

SCHIMITZ, Cristiane S. **Mecânica dos solos**, Curso Técnico de Edificações. Pelotas: Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas, 2013. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/17348138/Apostila-de-Mecanica-Dos-Solos>>. Acesso em: 23 abr. 2013.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual técnico de pavimentação: volume 1**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2007.

SICRO. **Sistemas de custos rodoviários**. Rio de Janeiro: nov. 2012.

SINAPI. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil**. Brasil: Caixa Econômica Federal, jun. 2013.

TCPO. **Tabelas de composições de preços para orçamentos**. 13^a ed. São Paulo: Pini, 2010.

TROMBETTA, Jairo. **Avaliação, diagnóstico e manutenção de pavimentos flexíveis**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

TROMBETTA, Jairo. **Dimensionamento de pavimentos rígidos**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fichas do Levantamento do Tráfego

Figura 36 – Ficha 01 de do levantamento do tráfego.

Figura 26 - Ficha de contagem volumétrica I

CONTAGEM VOLUMÉTRICA

A TRÊS VIOS

B

VEÍCULOS LEVES
Carrocinhas

ONIBUS

CAMINHÕES

VEÍCULOS PESADOS

OUTROS

TOTAL

HORARIO	VEÍCULOS LEVES			ONIBUS			CAMINHÕES			VEÍCULOS PESADOS			OUTROS			TOTAL	
	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
08:00-08:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08:15-08:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08:30-08:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08:45-09:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09:00-09:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09:15-09:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09:30-09:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09:45-10:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10:00-10:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10:15-10:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10:30-10:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10:45-11:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11:00-11:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11:15-11:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11:30-11:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11:45-12:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CONTADOR

OBSERVAÇÕES

116 10 7 53

(A)

MT/DNIT/DPP/PR

Fonte: Autores, 2013.

Figura 38 – Ficha 03 de do levantamento do tráfego.

Figura 26 - Ficha de contagem volumétrica I

CONTAGEM VOLUMÉTRICA

09/05

ESTRADA: _____ RODOVIA: _____ TRECHOS: _____

LOCAL DA CONTAGEM: _____ MARCO QUILOMÉTRICO: _____

DATA DA CONTAGEM: _____ HORA INÍCIO: _____ HORA TÉRMINO: _____

SENTIDOS: _____

VEÍCULOS LEVES: Camionetas Ônibus 2C 3C 4C

VEÍCULOS PESADOS: Camionetes Ônibus 2C 3C 4C

CONTADOR	CAMIÕES												TOTAL		
	3C3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C2	3C3	3C2	3C3	3C2	3C3	3C2			
16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
16-1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
16-2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
46	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
1700	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
22	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
48	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

CONTADOR: _____

OBSERVAÇÕES: *De pontos de 17*

Monte do Formosa

Figura 39 – Ficha 04 de do levantamento do tráfego.

CONTAGEM VOLUMÉTRICA

Figura 26 - Ficha de contagem volumétrica I

ESTRADA: _____ CODO INV: _____ TRECHO: _____ **A** _____ **B** _____

POSTO: _____ LOCAL DA CONTAGEM: _____ MARCO QUILOMÉTRICO: _____ DATA DA CONTAGEM: _____ HORA INÍCIO: _____ HORA TÉRMINO: _____ SENTIDO: _____

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES			ÔNIBUS			CAMINHÕES										TOTAL			
	Autos	Caminhões	Outros	3C	3C	3C	4C	3C	4C	251	252	253	352	353	2C2	2C3		3C2	3C3	4 e mais
00	///	///	///																	///
15	///	///	///																	///
30	///	///	///																	///
45	///	///	///																	///
60	///	///	///																	///
75	///	///	///																	///
90	///	///	///																	///
105	///	///	///																	///
120	///	///	///																	///
135	///	///	///																	///
150	///	///	///																	///
165	///	///	///																	///
180	///	///	///																	///
195	///	///	///																	///
210	///	///	///																	///
225	///	///	///																	///
240	///	///	///																	///
255	///	///	///																	///
270	///	///	///																	///
285	///	///	///																	///
300	///	///	///																	///
315	///	///	///																	///
330	///	///	///																	///
345	///	///	///																	///
360	///	///	///																	///
375	///	///	///																	///
390	///	///	///																	///
405	///	///	///																	///
420	///	///	///																	///
435	///	///	///																	///
450	///	///	///																	///
465	///	///	///																	///
480	///	///	///																	///
495	///	///	///																	///
510	///	///	///																	///
525	///	///	///																	///
540	///	///	///																	///
555	///	///	///																	///
570	///	///	///																	///
585	///	///	///																	///
600	///	///	///																	///

PK _____

OBSERVAÇÕES: _____

CONTADOR: _____

(A)

Fonte: Autores, 2013.