

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GUILHERME GUBERT FERRI

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO EM UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

**São Leopoldo
2018**

GUILHERME GUBERT FERRI

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO EM UM CONDOMINIO
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Graduado em
Engenharia civil, pelo Curso de Engenharia
civil da Universidade do Vale do Rio dos
Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Malysz

São Leopoldo
2018

Dedico este trabalho a Deus e a toda minha família,
que sempre me apoiaram nos momentos mais
difíceis, durante toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

A todos que estiveram, estão e estarão presente em toda minha jornada acadêmica.

Aos meus pais João Luís Ferri e Flavia Gubert por me sempre estarem me incentivando nos momentos difíceis dessa jornada.

Aos meus irmãos Mauricio Gubert Ferri e Lucas Gubert Ferri que de uma forma ou outra me ajudaram durante toda a vida.

Agradeço imensamente os meus tios Áureo Gubert e Cleusa Gubert, pois me hospedaram em sua residência por um ano, onde consegui adiantar a faculdade.

Ao meu professor orientador Doutor Rodrigo Malysz que não mediu esforços nas orientações, me dando total apoio e tirando todas minhas dúvidas durante todo trabalho de conclusão do curso.

A todo o pessoal do laboratório de solos e de materiais pelos conselhos e pelos conhecimentos práticos e teóricos.

RESUMO

Com o grande crescimento dos diversos tipos de pavimentos, um grande desafio para construção Civil é o bom dimensionamento do pavimento intertravado. Assim, este trabalho tem como objetivo o dimensionamento adequado do pavimento intertravado em um condomínio Residencial localizado na cidade de Xangri-lá, aplicando métodos que utilizam as características do solo e o número de solicitações equivalente ao eixo padrão N. Para tal determinação são necessários os ensaios de Limite de Plasticidade (LP) e Limite de Liquidez (LL), ambos os ensaios tiveram como resultado o solo não plástico (NP), o ensaio de peneiramento 100% do material ficou retido na peneira 200 mm, assim a classificação do solo ficou como A-3 areia fina de praia sem silte ou argila, como subleito é de excelente a bom. Foram feitos dois ensaios de compactação (proctor) e obteve uma média de umidade ótima de 8,33%, o Índice de Suporte Califórnia (ISC) teve um resultado de 5,48% e expansão de 0,17%. A contagem dos veículos foi realizada pela empresa que presta serviço para o condomínio, através do cálculo do número de solicitações equivalentes N para um período de 10 anos o valor encontrado foi de $2,45 \times 10^5$. Conforme o ensaio de peneiramento para a camada de assentamento, o material escolhido foi o pó de brita, que teve todas as porcentagens adequadas nas devidas peneiras. Com os resultados de ISC e cálculo de solicitações equivalentes ao eixo padrão conhecidos, o dimensionamento conforme o procedimento A (ABCP) ficou com 18 cm de sub-base, 4 cm de pó de brita e peça com 6 cm, totalizando 28 cm. O procedimento B (PCA), os resultados obtidos para as espessuras das camadas foram 26 cm de sub-base, 4 cm de pó de brita e peça com 6 cm, totalizando 36 cm. Comparando com o método do DNIT aplicado no condomínio em estudo onde as espessuras eram de 20 cm de sub-base, 5 cm de base, 3 cm de areia fina não lavada e peça com 8 cm de espessura, totalizando 36 cm. Por fim acredita-se que os métodos são todos parecidos, pois além dos resultados serem aproximados as variáveis são as mesmas.

Palavras chave: Pavimento intertravado. Dimensionamento. Peça pré-moldada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vila Ápia em Roma.....	16
Figura 2 – Caminho feito com pedras pé de moleque.....	18
Figura 3 – Lagoa do Marcelino-RS.....	19
Figura 4 – Estrutura típica de um P.I.....	20
Figura 5 – Faixa granulométrica do Agregado Miúdo.....	22
Figura 6 – Assentamento da peça pré-moldada.....	22
Figura 7 – Formato das PPC.....	23
Figura 8 – Principais arranjos das PPC.....	24
Figura 9 – Espessura da Peça pré-moldada	25
Figura 10 – Modelo Construtivo	26
Figura 11 – Intertravamento Horizontal.....	27
Figura 12 – Intertravamento Vertical	28
Figura 13 – Intertravamento rotacional ou de giro.....	28
Figura 14 – Espessura da Sub-base	34
Figura 15 – Espessura da Base	35
Figura 16 – Espessura da Base puramente Granular	36
Figura 17 – Espessuras das Camadas	40
Figura 18 – Modelo Espinha de Peixe.....	40
Figura 19 – Ensaio de Limite de plasticidade.....	42
Figura 20 – Ensaio de análise Granulométrica.....	43
Figura 21 – Ensaio de Compactação	44
Figura 22 – Ensaio de Índice de Suporte Califórnia	45
Figura 23 – Ficha de Contagem Volumétrica	46
Figura 24 – Peneiramento Agregado Miúdo.....	49
Figura 25 – Classificação do solo.....	52
Figura 26 – Espessura da camada de sub-base (ABCP).....	61
Figura 27 – Espessura da Camada de Base (ABCP).....	62
Figura 28 – Seção do Pavimento conforme método ABCP.....	63
Figura 29 – Espessura da Camada de Base (PCA)	64
Figura 30 – Seção do Pavimento conforme método PCA	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tolerância Dimensionais das PPC	31
Tabela 2 – Resistência a Compressão.....	32
Tabela 3 – Classificação do tráfego	33
Tabela 4 – Fatores de Equivalência de Carga	47
Tabela 5 – Carga máxima por eixo	47
Tabela 6 – Fator Climático	48
Tabela 7 – Peneiramento Fino	50
Tabela 8 – Dados de compactação ensaio 1	53
Tabela 9 – Umidade de Moldagem pelo método estufa ensaio 1.....	53
Tabela 10 – Dados de compactação ensaio 2	53
Tabela 11 – Umidade de Moldagem pelo método estufa ensaio 2.....	53
Tabela 12 – Média dos resultados de Compactação	54
Tabela 13 – Índice de Suporte Califórnia	55
Tabela 14 – Resultados da Expansão.....	55
Tabela 15 – Quantidade de veículos por dia.....	56
Tabela 16 – Fator de Carga	57
Tabela 17 – Fator de Eixo	58
Tabela 18 – Peneiramento do Agregado miúdo para camada de assentamento.....	59
Tabela 19 – Determinação do material passante	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva Granulométrica.....	51
Gráfico 2 – Curva de Compactação	54
Gráfico 3 – Curva Pressão – Penetração	56
Gráfico 4 – Precipitação Xangri-lá.....	58

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ANBT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR	Califórnia Bearing Ratio
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
P.I	Pavimento Intertravado
PCA	Portland Cement Association
PPC	Peças pré-moldadas de concreto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 PAVIMENTO	14
2.2 HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO	14
2.3 PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO	19
2.4 ESTRUTURAS DO PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	20
2.5 CAMADA DE REVESTIMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO	23
2.6 PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DOS PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	25
2.7 INTERTRAVAMENTO PRODUZIDOS PELO PAVIMENTO INTERTRAVADO ..	26
2.8 INFLUÊNCIA DO TIPO DE MAQUINA NO PROCESSO CONSTRUTIVO	29
2.9 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS PEÇAS PRÉ-MOLDADA	30
2.9.1 Agregado Graúdo	30
2.9.2 Cimento Portland	30
2.9.3 Agregado Miúdo	30
2.9.4 Água	31
2.10 CARACTERÍSTICAS DA PEÇA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	31
2.11 CLASSIFICAÇÃO DO TRÁFEGO	32
2.12 PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO A (ABCP)	33
2.12.1 1º Ábaco	34
2.12.2 2º Ábaco	34
2.13 PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO B (PCA).....	35
2.14 PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO DO DNIT	37
3 METODOLOGIA	39
3.1 ESTUDO DE CASO	39
3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO	41
3.3 NÚMERO DE SOLICITAÇÕES EQUIVALENTES AO EIXO PADRÃO (N).....	45
3.3.1 Contagem Volumétrica ou Classificatória	45
3.3.2 Volume diário de tráfego	46

3.3.3 Fator de Carga	46
3.3.4 Fator de Eixo	47
3.3.5 Fator Climático	48
3.3.6 Número N	49
3.4 DETERMINAÇÃO DO AGREGADO PARA A CAMADA DE ASSENTAMENTO.	49
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
4.1 LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)	50
4.2 LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)	50
4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	50
4.4 COMPACTAÇÃO (PROCTOR)	52
4.5 INDÍCE DE SUPORTE CALIFORNIA (ISC)	54
4.6 VOLUME DIÁRIO MÉDIO (VDM)	56
4.7 FATOR DE CARGA (FC)	57
4.8 FATOR DE EIXO (FE).....	57
4.9 FATOR CLIMÁTICO.....	58
4.10 NÚMERO DE SOLICITAÇÕES EQUIVALENTE AO EIXO PADRÃO (N)	59
4.11 MATERIAL UTILIZADO NA CAMADA DE ASSENTAMENTO	59
4.12 DIMENSIONAMENTO A (ABCP)	60
4.12.1 Espessura da Sub-base	60
4.12.2 Espessura da Base	61
4.12.3 Seção do Pavimento	63
4.13 DIMENSIONAMENTO B (PCA).....	64
4.13.1 Espessura da Base	64
4.13.2 Seção do pavimento	65
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
5.1 CONCLUSÕES	66
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A- ENSAIO DE GRANULOMETRIA	71
APÊNDICE B- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO 1	72
APÊNDICE C- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO 2	73
APÊNDICE D- ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (ISC)	74

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é considerado um conjunto de camadas, estas camadas são construídas em cima de um terreno plano, podendo ligar um local ao outro.

Há muito tempo o pavimento intertravado vem ganhando espaço no mercado por suas características como baixo valor de manutenção, reutilização das peças e não necessitando tempo de cura, essas qualidades demonstram um valor benéfico quando é utilizado este tipo de pavimentação.

A espessura das camadas da estrutura do pavimento depende muito do tipo de solo, e se dá por meio de cinco camadas, subleito que é a camada de solo, sub-base, base, camada de assentamento e camada de revestimento, essas camadas são responsáveis por distribuir as tensões até o subleito.

Na fabricação as peças pré-moldadas contam com diversos tipos de dimensões, formato e cores, assim podendo ser utilizado até para fins estéticos. As peças quando tem dimensões bem definidas são resistentes aos deslocamentos individuais, como de giro, vertical, horizontal e rotação, esses movimentos são resistentes devido ao preenchimento correto das juntas.

A espessura da peça de concreto pode variar, pois depende muito da intensidade de tráfego existente nessa via, alguns pesquisadores mostram que a espessura varia, usa-se 60 mm pra calçadas, passeios e tráfego leve, 80 mm para tráfego médio pesado e 100 mm para tráfego muito pesado.

Quanto ao dimensionamento ainda não existem muitos métodos específicos sobre o assunto, assim é muito utilizada às adaptações dos métodos para pavimentos flexíveis.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo é dimensionar o pavimento intertravado, em função das características do solo e do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão, utilizando diferentes métodos: dois fornecidos pela Prefeitura Municipal de São Paulo, comparando com o método do DNIT utilizado na obra de um condomínio residencial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar as características do solo;
- b) Determinar o número de solicitações equivalentes ao eixo padrão (N);
- c) Determinar o Agregado para a camada de Assentamento;
- d) Dimensionar a espessura das demais camadas do pavimento.

1.3 JUSTIFICATIVA

Para um bom desempenho do pavimento é necessária uma boa atenção para o projeto de dimensionamento, utilizando de forma correta os métodos conhecidos no Brasil, podemos reduzir ainda mais as deformações permanentes.

O pavimento quando bem executado não apresenta grandes deformações, garantindo sucesso e dando conforto aos seus usuários durante o tempo de projeto. Quando a execução do dimensionamento é feita de forma incorreta ou quando não são realizados os estudos necessários, pode ocorrer diversos problemas como deformações permanentes ou até mesmo pequenas reconstruções na via. Por isso deve ser feito o estudo do solo e o cálculo das solicitações equivalentes, assim conseguindo distribuir as tensões para o subleito.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho consiste apenas em fazer o dimensionamento do pavimento intertravado, utilizando os dados coletados no Condomínio Residencial localizado na cidade de Xangri-lá – RS, como solo e número de veículos que trafegam no mesmo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PAVIMENTO

Pavimento, segundo Bernucci et. (2006), é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Qualquer estrutura construída com diferentes camadas, materiais e características é considerada um pavimento, com objetivo de transportar pessoas e cargas de um local para outro com segurança e conforto.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2003) define pavimentação como: a) camadas constituídas por solos; b) britas de rochas; c) escória de alto forno; e d) pela mistura desses materiais. Estas camadas, puramente granulares, são sempre flexíveis e são estabilizadas granulometricamente pela compactação de um material ou de mistura de materiais que apresentem uma granulometria apropriada e índices geotécnicos específicos.

2.2 HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO

Com o aperfeiçoamento dos veículos de tração, foi necessária uma melhoria na superfície de rolamento, assim começando a talhar as peças manualmente dando melhor ajustes entre as elas. (GODINHO, 2009).

Para melhor entendimento dos pavimentos feitos com peças pré-moldadas de concreto, temos que recorrer um pouco a dados históricos para mostrar toda necessidade que os povos tinham para criar e construir caminhos.

No período compreendido entre 800 e 350 A.C, a Itália era dominada pelos povos Etruscos. Estes povos eram precursores na construção de caminhos específicos e visavam transportar cargas e pessoas de um lugar para outro. As técnicas utilizadas por estes povos tinham como objetivo atingir longas distâncias com maior conforto através de uma superfície plana, utilizando materiais disponíveis. (CRUZ, 2003).

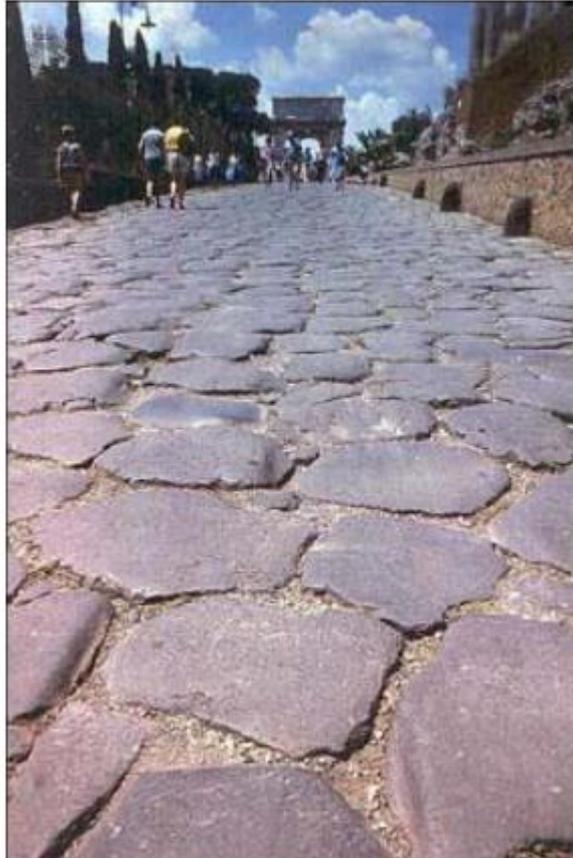
Os Romanos herdaram os conhecimentos da construção de caminhos do povo Etruscos, o que muito contribuiu para o crescimento de seu Império. À medida que os Romanos conquistavam novas regiões, era necessária a construção de ligações com o Império para principalmente manter o deslocamento das tropas militares. (CRUZ, 2003).

Os Romanos construíam seus caminhos de várias formas e de acordo com sua utilização. Os caminhos com longas distâncias, geralmente eram utilizados como revestimento solos arenosos misturados com pedras, as ruas mais utilizadas nas cidades eram revestidas com pedras talhadas. (CRUZ, 2003).

No século 150 A.C, um material conhecido como *puzzolana* foi descoberto na cidade *Puzzeoli* na Itália. Este material utilizado juntamente com cal e areia apresentava uma resistência considerável ao longo do tempo, hoje em dia é conhecido como cimento Portland. (GODINHO, 2009).

Fica clara a importância da utilização de pedras talhadas na história dos caminhos, as mesmas serviam como revestimento final da via. A figura 1 – Vila Ápia mostra um dos maiores exemplos resistentes até hoje, uma das pavimentações mais importantes para os Romanos, ligando Roma até o sul da Itália. O caminho foi feito por construtores da época e tinha uma extensão de aproximadamente 580 km com objetivo de transportar tropas e armamento. (CRUZ, 2003; GODINHO, 2009).

Figura 1 – Vila Ápia em Roma



Fonte: Madri (2004 apud GODINHO, 2009).

Segundo Godinho (2009), as técnicas de execução da pavimentação e os materiais utilizados na sua construção se davam pela disponibilidade do local. Com o sistema de desenvolvimento as peças foram sendo modificadas e podem ser descrita em quatro processos: a) blocos de tijolos de argila; b) pedras talhadas; c) bloco de tijolo de madeira; e d) pré-moldados de concreto.

Por volta de 5.000 anos atrás existiram evidências do uso de blocos de argila, também nessa época houve relatos de betume na pavimentação. Os blocos eram posicionados sobre uma camada de betume com objetivo de ter maior aderência entre o tijolo e o terreno, porém a resistência destes blocos não era suficiente devido ao grande desgaste superficial ocorrido pela ação do tráfego na época. (CRUZ, 2003).

Os primeiros fornos a queimar os tijolos de argila em alta temperatura apareceram no século XIX, isto resultava no aumento da resistência mecânica, passando então a ser muito utilizada na Europa e América. (GODINHO, 2009).

A tecnologia dos tijolos de argila vem sendo usado na pavimentação das ruas da cidade de Rio Branco capital do Acre desde 1940, devido à grande disponibilidade de materiais o que contribui para utilização do mesmo. (GODINHO, 2009).

O tijolo é colocado sobre um aterro devidamente preparado em termos geotécnicos, proporcionando uma superfície que tem melhor segurança ao rolamento além de oferecer maior resistência à infiltração de água. A argila deve ter resistência à compressão, para que quando queimada nos fornos, dê origem a blocos que resistam ao desgaste e compressão. (FUNTAC, 1999).

Conforme Godinho (2009), as pedras talhadas apresentavam resistência ao desgaste, por isso os Romanos tinham preferência nesse tipo de pavimentação, porém sua utilização dependia dos materiais existentes na época. Os primeiros modelos surgiram no século XVIII, com a preocupação de manter as juntas entre as peças estreitas apresentando variação entre 90 e 180 mm. Com o objetivo de amenizar o barulho causado sob o efeito do tráfego, as juntas começaram a ser seladas com argamassa.

No Brasil este pavimento é conhecido como pavimento de paralelepípedo ou paralelos e pedras pé de moleque. Hoje em dia no interior ou em grandes cidades e muito utilizado este tipo de pavimento.

As pedras pé de moleque vieram antes que a paralelo, as mesmas são arrumadas em terreno natural tem formatos irregulares chegando a dimensões de no máximo 50 cm. As cidades históricas de Paraty no Rio de Janeiro e Tiradentes em Minas gerais são exemplos desta pavimentação. (CRUZ, 2003).

Figura 2 – Caminho feito com pedras pé de moleque



Fonte: Ricardo Gaspar (texto digital)

No século XIX, com objetivo de diminuir o nível de ruído principalmente onde o tráfego era composto por carruagens que tinham as rodas feitas de ferro, iniciou a pavimentação com peças que utilizavam a madeira como material.

Mesmo que as peças de madeira reduzissem o nível de ruído, as mesmas eram lisas quando molhadas. Com o aparecimento do carro com pneus de borracha esse material deixou de ser utilizado e foi definitivamente abandonado. (CRUZ, 2003).

Conforme Godinho (2009), outro material utilizado eram as peças pré-moldadas de concreto, a primeira peça foi fabricada no século XIX. Os avanços no desenvolvimento da utilização deste material ocorreram na reconstrução dos países como Holanda e Alemanha depois da Segunda Guerra Mundial. Por volta de 1950, foram evoluindo os formatos e modelos das peças, com objetivo de uma substituição progressiva dos tijolos e pedras talhadas. Passando este período, o conceito de intertravamento começava a ser implantado, disponibilizado variados modelos e peças com diferentes formatos mostrando que os benefícios do assentamento eram notados facilmente, não necessitando grande experiência na execução. Em torno de 1960 o pavimento intertravado já estava garantido comercialmente na África do Sul, América Central e alguns países da Europa.

A aplicação do pavimento intertravado está crescendo em proporções gigantescas, no Brasil ele é usado principalmente em praças, estacionamentos e em vias urbanas.

Figura 3 – Lagoa do Marcelino-RS



Fonte: Autor

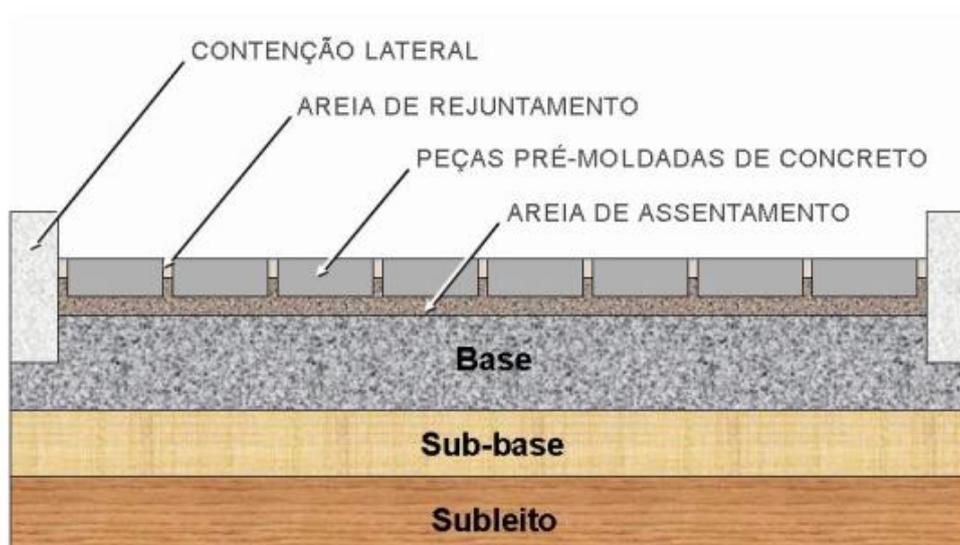
2.3 PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

As peças pré-moldadas de concreto (PPC) também são conhecidas como paver, são peças maciças que servem de revestimento para uma superfície. Define intertravamento a eficiência que a peça possui aos movimentos individuais, sendo horizontal, vertical, giro ou de rotação em relação às peças vizinhas. Os paver têm ganhado muito espaço no mercado, pelas vantagens oferecidas por esse sistema. (CRUZ, 2003).

2.4 ESTRUTURAS DO PAVIMENTO INTERTRAVADO

A função básica do pavimento é distribuir as cargas concentradas, não deixando que o subleito receba cargas excessivas acima de sua capacidade. Subleito é o resultante do corte e aterro.

Figura 4 – Estrutura típica de um P.I



Fonte: Hallack (1998 apud GODINHO, 2009)

A camada de rolamento é executada em três etapas, a primeira destina-se a colocação dos meios fios, a próxima é a de assentamento da peça e preenchimento das juntas e terceira e não menos importante é vibrar o pavimento.

Conforme Carvalho (1998), as peças devem ser assentadas de modo a impossibilitar o deslocamento das já assentadas, bem como qualquer instabilidade na camada de assentamento. O posicionamento do colocador deve ser em cima da área já pavimentada e assentando peça por peça, de modo a encostar a nova na já assentada, pressionar para baixo de modo a encostar-se na camada de assentamento.

A estrutura final, onde será feito o pavimento chama-se subleito, origina-se da estrutura final da terraplanagem e deve ser regularizado, compactado e posicionado na altura indicada no projeto para que possa vir as demais camadas.

Tem como finalidade deixar firme para que as demais camadas possam ser compactadas. (CARVALHO, 1998).

Com objetivo de fixar as cotas para pavimentação, a avaliação topográfica é de grande importância, ela que vai definir a utilização de corte e aterro. (GODINHO, 2009).

Shackel (1991 apud CRUZ, 2003), ressalta que o dimensionamento também poderá requerer uma camada de sub-base. Sua necessidade dependerá da magnitude das cargas geradas pelo tráfego e das características de resistência mecânica e módulo de elasticidade do subleito.

A camada de sub-base deverá utilizar um material onde o ISC (Índice de Suporte Califórnia) deve ser igual ou superior a 20%, e o índice de expansão igual ou inferior a 1%, estas regulamentações são fornecidas pelo DNIT 139/2010 ES, sub-base estabilizada granulometricamente.

A camada de base é o elemento estrutural responsável por receber as tensões compartilhadas pela camada de revestimento, a base deve ser uma camada pouco permeável, ou impermeável, evitando penetração de água nas demais camadas subjacentes. Tem como função principal proteger estruturalmente a camada do subleito, evitando deformações permanentes. (CRUZ, 2003).

Os materiais mais utilizados na camada de base são os de tipo granular, podem ser compostos por solos de jazidas sem misturas, mistura de solos e agregados, materiais britados, escórias entre outros. Estes materiais são regulamentados pelo DNIT141/2010 ES, Bases estabilizada granulometricamente.

A camada de assentamento serve de base para as peças pré-moldadas. Também, proporcionando uma superfície regular onde possam assentar as peças e acomodar suas eventuais tolerâncias de fabricação. (CRUZ, 2003).

Segundo Muller (2005), a camada de revestimento composta por peças pré-moldadas garante estabilidade e conforto ao usuário, além de durabilidade do pavimento contribui diretamente na distribuição das tensões por meio das características de intertravamento. No início da utilização, ocorre uma pequena deformação no pavimento devido à acomodação da areia na camada de assentamento.

Figura 5 – Faixa granulométrica do Agregado Miúdo

Peneiras (aberturas) (mm)	Passando, %
9,5	100
4,8 (nº 4)	95 - 100
2,4 (nº 8)	80 - 100
1,2 (nº 16)	50 - 85
600 µm (nº 30)	25 - 60
300 µm (nº 50)	10 - 30
150 µm (nº 100)	2 - 10

Fonte: DNER-EM 038/97

A seleção da areia não deve comprometer a função estrutural do pavimento, porém deve se levar em conta a disponibilidade local do material.

Após rejuntar as peças, contenção lateral é obtida através da delimitação da via ou passeios, essa delimitação é feita a partir do meio-fio que tem como objetivo suportar os esforços horizontais internos e externos.

Figura 6 – Assentamento da peça pré-moldada



Fonte Hometeka (texto online)

Knapton (1995 apud CRUZ, 2003) relata que os procedimentos de dimensionamento da *Federal Aviation Administration* (FAA), utilizam a mesma

metodologia para os pavimentos flexíveis e os pavimentos de PPC, onde, basicamente, no processo de dimensionamento as variáveis independentes são:

a) Resistência do subleito (determinada através do método do CBR); b) Tipo de material a ser utilizado na base – granular ou estabilizado quimicamente; c) Intensidade de tráfego.

2.5 CAMADA DE REVESTIMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO

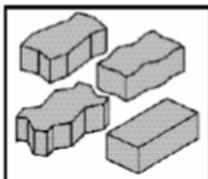
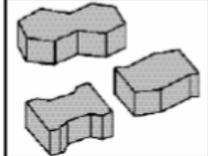
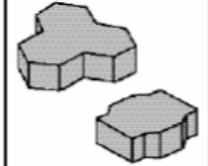
As peças pré-moldadas funcionam como uma camada única devido ao seu intertravamento.

A capacidade de uma peça não se mover em relação à peça vizinha chama-se de intertravamento horizontal, em qualquer tipo de arranjo ou formato. As juntas das peças quando preenchidas corretamente com o tipo de areia adequado, garantem o bom funcionamento do pavimento. (GODINHO, 2009).

- Formato

As peças pré-moldadas não são fabricadas em apenas um ou dois formatos, existem modelos que são mais utilizados por isso merecem destaque. Os pesquisadores nunca entraram em nenhum consenso sobre qual o melhor formato das peças, apenas permitir o assentamento em combinação bidirecional.

Figura 7 – Formato das PPC

	<p>A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento / largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em "espinha-de-peixe" e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.</p>
	<p>B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em "I".</p>
	<p>C. Peças de concreto com tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podem ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triângulos etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.</p>

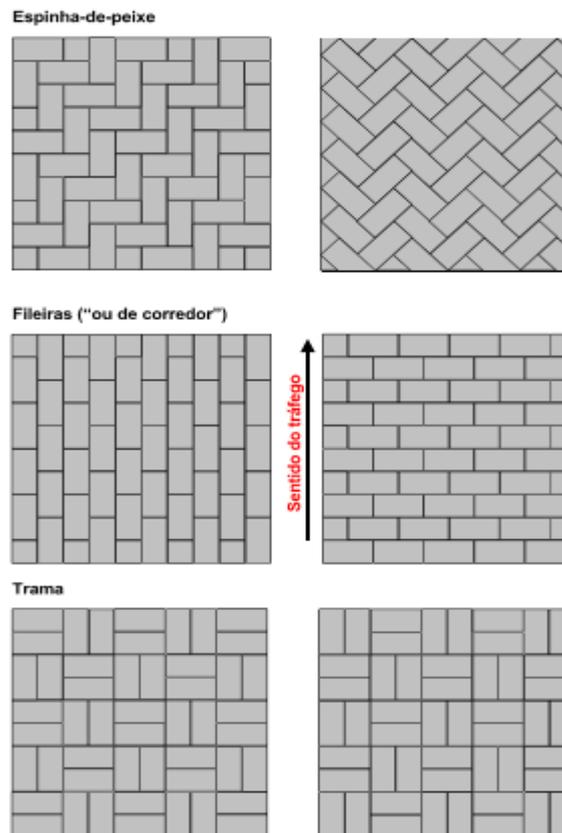
Fonte: Hallack (1998 apud MULLER,2005).

- Arranjo

O tipo de arranjo escolhido é o que define a aparência estética do pavimento e pode influenciar no desempenho do pavimento.

O modelo “espinha-de-peixe” apresenta desempenho superior aos outros modelos, desenvolvendo valores de deformações permanentes menores associados ao tráfego, já o tipo fileira apresenta grandes deformações permanentes especialmente quando é assentado paralelo ao tráfego. (SHACKEL, 1990 apud MÜLLER, 2005).

Figura 8 – Principais arranjos das PPC



Fonte: Hallack (1998 apud GODINHO, 2009)

- Espessura

SHACKEL (1990 apud GODINHO, 2005), mostra que a espessura varia de 60 mm a 100 mm, e o aumento dentro desses valores tem um valor benéfico para a estrutura do pavimento.

Ensaio feitos com simuladores de tráfego pesado mostravam maiores deformações permanentes nas peças de 60 mm do que em peças de 80 mm, com o mesmo número de solicitações. As peças de 100 mm não apresentaram deformações permanentes consideráveis.

A Prefeitura Municipal de São Paulo classificou a espessura da peça, utilizando o número de solicitações equivalentes ao eixo padrão.

Figura 9 – Espessura da Peça pré-moldada

TRÁFEGO	ESPESSURA REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N \geq 10^7$	10,0 cm	50 MPa

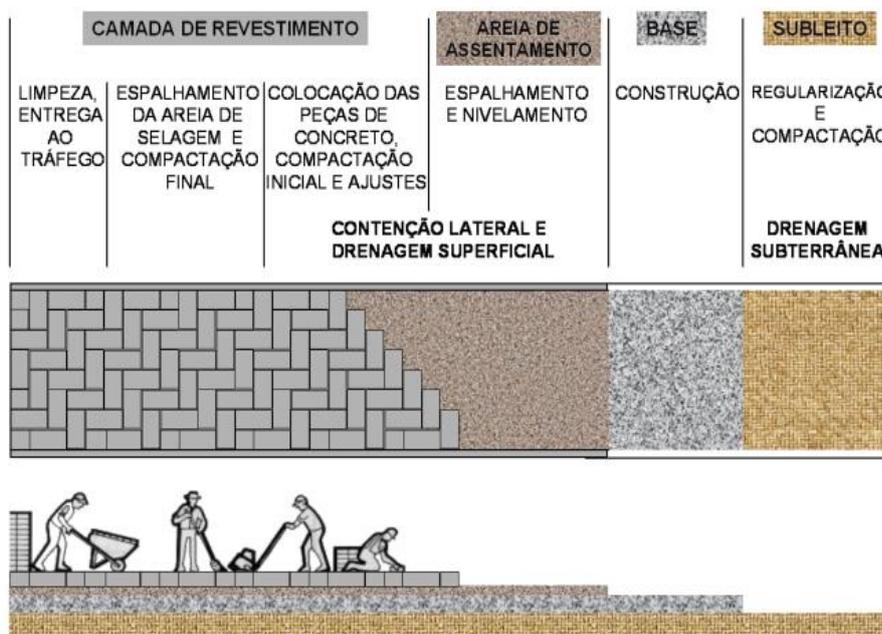
Fonte: PMSP-IP-06/2004

2.6 PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DOS PAVIMENTO INTERTRAVADO

SHACKEL (1990 apud GODINHO, 2005), fornece procedimentos e construção dos pavimentos com peças pré-moldadas de concreto, também especificam os materiais utilizados nas demais camadas.

Sobre a areia, as peças são assentadas e compactadas, logo após é colocado areia e espalhado para que preencha as juntas, faz a compactação das peças até que a areia preencha totalmente as juntas. Assim o comportamento das peças fica totalmente favorável e o desempenho do pavimento é obtido.

Figura 10 – Modelo Construtivo



Fonte: Figura 2.12- Procedimentos e construções (MADRID, 1986 APUD GODINHO,2009, p. 43)

2.7 INTERTRAVAMENTO PRODUZIDOS PELO PAVIMENTO INTERTRAVADO

O comportamento do pavimento intertravado é semelhante à de uma camada flexível, devido a sua característica de intertravamento. HALLACK (2000 apud GODINHO, 2009) fala da resistência das peças quando aos deslocamentos individuais, são eles: deslocamento horizontal, vertical, rotacional ou de giro.

- Intertravamento Horizontal

O intertravamento horizontal é a resistência da peça no sentido horizontal, isso se dá devido ao preenchimento correto das juntas. O arranjo pode influenciar diretamente no intertravamento.

Figura 11 – Intertravamento Horizontal



Fonte: ICP N°4 (2002 apud GODINHO, 2009, p. 44).

-Intertravamento vertical

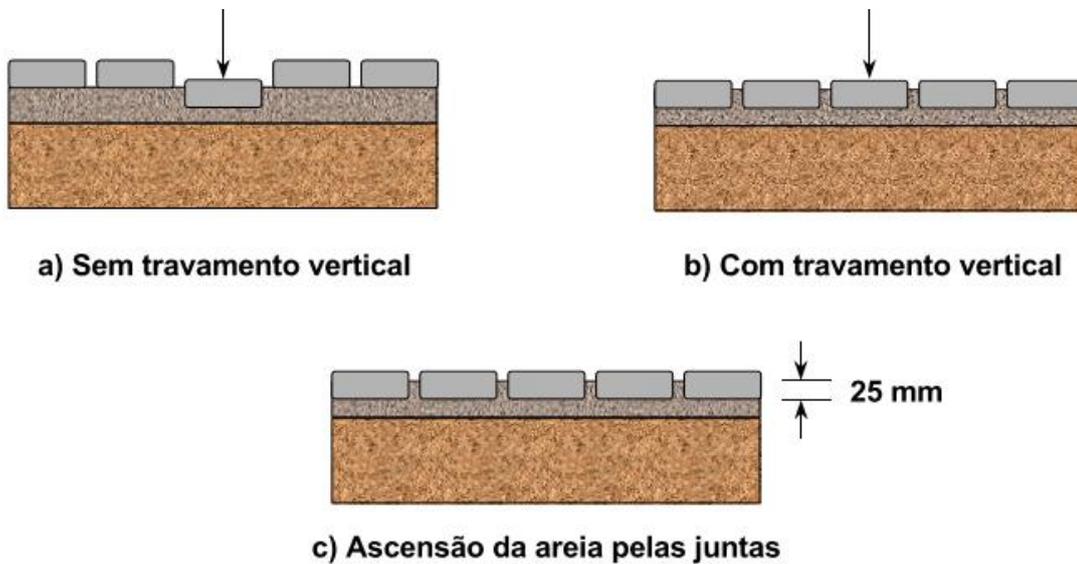
É a resistência que a peça tem de se mover no sentido vertical. Segundo KNAPTOM (1996 apud GODINHO, 2009) pode se conseguir esse tipo de travamento com peças segmentadas nas faces laterais, assim trabalhando tipo macho e fêmea.

O rejunte ideal das peças com areia e a capacidade estrutural das camadas inferiores, absorvem os esforços de cisalhamento aumentando ainda mais o método de intertravamento vertical.

A aplicação de uma carga em uma peça de concreto sem o travamento vertical, a peça vai ter tendência de baixar independente das outras, com isso podendo ocorrer tensões excessivas nas camadas inferiores.

Ao fazer a execução do assentamento, devem-se colocar as peças de modo que a areia de assentamento suba 25mm entre as juntas, justamente para ter um maior intertravamento vertical. (GODINHO, 2009).

Figura 12 – Intertravamento Vertical



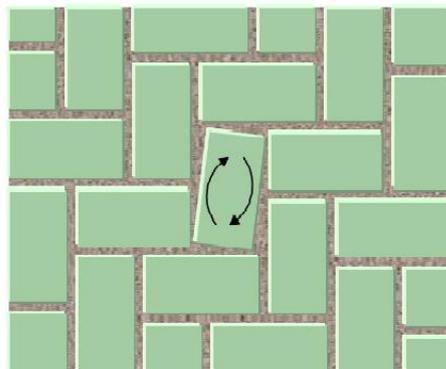
Fonte: HALLACK (1998 apud GODINHO, 2009, p.46).

- Intertravamento rotacional ou de giro

O intertravamento rotacional ou de giro é a resistência que a peça tem de não girar em torno do seu próprio eixo, isso se dá devido à espessura das juntas e seu correto preenchimento.

Esse giro da peça ocorre geralmente em áreas de aceleração e frenagem, devido ao tipo e frequência de tráfego, a qualidade de areia utilizada para as juntas e suas espessuras pode influenciar nesse tipo de fenômeno. (GODINHO, 2009).

Figura 13 – Intertravamento rotacional ou de giro



Fonte: Hallack (1998 apud GODINHO, 2009, p. 47).

2.8 INFLUÊNCIA DO TIPO DE MAQUINA NO PROCESSO CONSTRUTIVO

O método de construção das peças de concreto se divide em dois grandes grupos: manual e mecânico.

No método manual, a colocação de concreto nas formas é via manual, assim a capacidade produtiva dependerá do número de funcionários e da quantidade de formas existentes. É utilizada formas de plásticos com dimensões apropriadas e uma mesa vibratória. A vantagem deste processo é o aspecto visual das peças de concreto. Porém esse processo não é muito utilizado nos dias de hoje. (CRUZ, 2003).

No processo mecânico a resistência e a durabilidade das PPC são atingidas através da alta pressão e regulagem da vibração das mesas, projetados para fabricação em grande escala. As vantagens deste método é a produção em grande escala, maior controle sobre a resistência mecânica e textura.

Estes equipamentos são conhecidos como vibro- prensas multifuncionais são responsáveis não só pela construção de PPC para pavimentação, mas também fabricam tijolos de vedação e estrutural de concreto, meio fio, grelhas entre outros. (CRUZ, 2003).

Desde meados de 1970 apareceram os primeiros equipamentos, a classificação deste equipamento se dava quanto ao método de desforma: a) vibro-prensa tipo poedeira; b) vibro prensa com desforma sobre paletes; c) vibro prensa com desforma multicamadas.

Vibro- prensas tipo poedeira são equipamentos que necessitam de grandes espaços horizontais, devido a isso não é muito utilizada no país. Esse equipamento tem pneus ou trilhos que trabalham livremente, usando o mesmo piso em que trabalham para a desforma das peças. (WIEBBELLING, 2015)

Vibro- prensas com desforma sobre paletes são equipamentos que necessitam de reposição de paletes a cada ciclo de fabricação, podendo ser automático ou manual, usam a mesma mesa como desforma das peças. O processo de cura é feito normalmente em câmaras de alta capacidade ao empilhamento, assim ocupando uma pequena parte do lugar da fabricação. A capacidade produtiva depende do tamanho, potência, prensagem e tipo de vibradores. Essas características que definem o ciclo de produção do equipamento. (CRUZ, 2003).

Vibro- prensas com desforma em camadas são as mais modernas do mercado, sua principal diferença é processo final, onde as peças são desmoldadas em camadas, com esse tipo de equipamento pode se organizar a desforma de acordo com o formato exigido. Na verdade, esse sistema é um grande paletizador integrado ao equipamento de prensas. (WIEBBELLING, 2015)

2.9 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS PEÇAS PRÉ-MOLDADA

Os tipos materiais são empregados na fabricação das peças pré-moldadas de concreto: a) agregado graúdo, b) cimento Portland, c) agregado miúdo e d) água. Muitas vezes é acrescentado aditivo para determinados fins, como aumento de resistência entre outros. (NBR 9781, 2013)

2.9.1 Agregado Graúdo

O agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira ABNT 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm, são utilizados na fabricação das peças pré-moldadas de concreto. (NBR 7211, 2005).

2.9.2 Cimento Portland

Segundo a NBR 9781/2013, a fabricação das PPC deve utilizar cimento que respeite as normas estabelecidas, independentemente do tipo que for usado.

O cimento exerce muita influência na resistência mecânica, porém, o equipamento e o clima também têm uma influência significativa na resistência das peças. Quando é utilizado muito cimento também pode dificultar a produção, devido ao alto nível de coesão. (PETTERMANN, 2006).

2.9.3 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos, como pó de brita basalto, são obtidos através da produção de agregado graúdo, são utilizados na fabricação das PPC. Não se utiliza muito o pó de brita, pois não há disponibilidade desse material em algumas regiões.

Os fabricantes normalmente usam areias médias, variando os módulos de finura de 2,5 a 3,2 evitando areias mais grossas que podem dificultar a compactação, devido ao fenômeno de interferência entre partículas. (PETTERMANN, 2006)

2.9.4 Água

A água para a fabricação das PPC não pode conter substâncias que influenciam na hidratação do cimento, a água ideal na produção é a de abastecimento público. (NBR 15900-1, 2009). Desde que não prejudique na desforma, a quantidade ideal de água e a máxima compatível com o equipamento.

2.10 CARACTERÍSTICAS DA PEÇA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO

A Norma NBR 9781 que foi editada em 2013 estabelece os requisitos mínimos exigíveis para a aceitação das peças pré-moldadas de concreto, sujeita a tráfego de pedestres ou de veículos.

A Norma descreve que as peças pré-moldadas de concreto são fabricadas em formatos retangulares, suas dimensões são de 200 mm de comprimento, uma largura de 100 mm e 60 mm de espessura mínima, a tabela 1 mostra as tolerâncias em milímetros da PPC.

Tabela 1 – Tolerância Dimensionais das PPC

Comprimento	Largura	Espessura
±3	±3	±3

Fonte: NBR 9781 (2013)

A absorção de água das PPC deve obedecer a um valor médio menor que 6%, nenhum valor individual deve ultrapassar 7%. (NBR9781, 2013).

Segundo a NBR 9781/2013, a resistência a compressão da peça pré-moldada de concreto se dá por meio do tipo que tráfego que irá atuar na via, conforme mostra a tabela 6.

Tabela 2 – Resistência a Compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781 (2013)

2.11 CLASSIFICAÇÃO DO TRÁFEGO

Segundo a Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio da Instrução de Projeto-02 (IP-02) classificam as vias como:

- a) **Tráfego leve:** São as ruas residenciais onde não necessita passagem de ônibus, podendo eventualmente passar ônibus ou caminhões, não excedendo o Máximo de 20 por dia.
- b) **Tráfego Médio:** Ruas e avenidas onde é esperado um máximo de 100 caminhões ou ônibus por dia.
- c) **Tráfego meio pesado:** Ruas e avenidas onde é esperado um mínimo de 100 e máximo de 300 caminhões ou ônibus por dia.
- d) **Tráfego pesado:** Ruas e avenidas onde é esperado um mínimo de 300 e máximo de 1000 caminhões ou ônibus por dia.
- e) **Tráfego muito pesado:** Ruas e avenidas onde é esperado um mínimo de 1000 e máximo de 2000 caminhões ou ônibus por dia.
- f) **Faixa exclusiva de Ônibus:** São faixas de uso exclusivamente de ônibus, podem ser faixas de volume médio e faixas com volume elevado, essas vias têm um período de projeto de 12 anos.

Tabela 3 – Classificação do tráfego

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

Fonte: PMSP-IP-02/2004

2.12 PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO A (ABCP)

Apesar de ser um segmento muito utilizado nos dias de hoje, muito pouco existe sobre o dimensionamento, assim o pavimento intertravado é considerado um pavimento flexível em relação ao dimensionamento, adaptando métodos e cálculos desenvolvidos para pavimentos flexíveis, usa-se a relação linear para representar o comportamento tensão – deformação das camadas e do subleito, inclusive admite que a camada formada pelas peças de concreto e camada de assentamento é equivalente a camada de revestimento com asfalto, quando se considera as características gerais da estrutura para a distribuição de tensões

O grande problema que pode ocorrer neste tipo de pavimento é geralmente recorrente da falta de compactação da camada de base e não preenchimento adequado das juntas entre PPC.

Para o dimensionamento existe o método da ABCP, presente no Estudo Técnico de nº 27 de Carvalho (1998).

O dimensionamento se dá por conta de ábacos que, a partir do conhecimento do CBR do subleito e o cálculo do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão, determina as espessuras das camadas de sub-base e base.

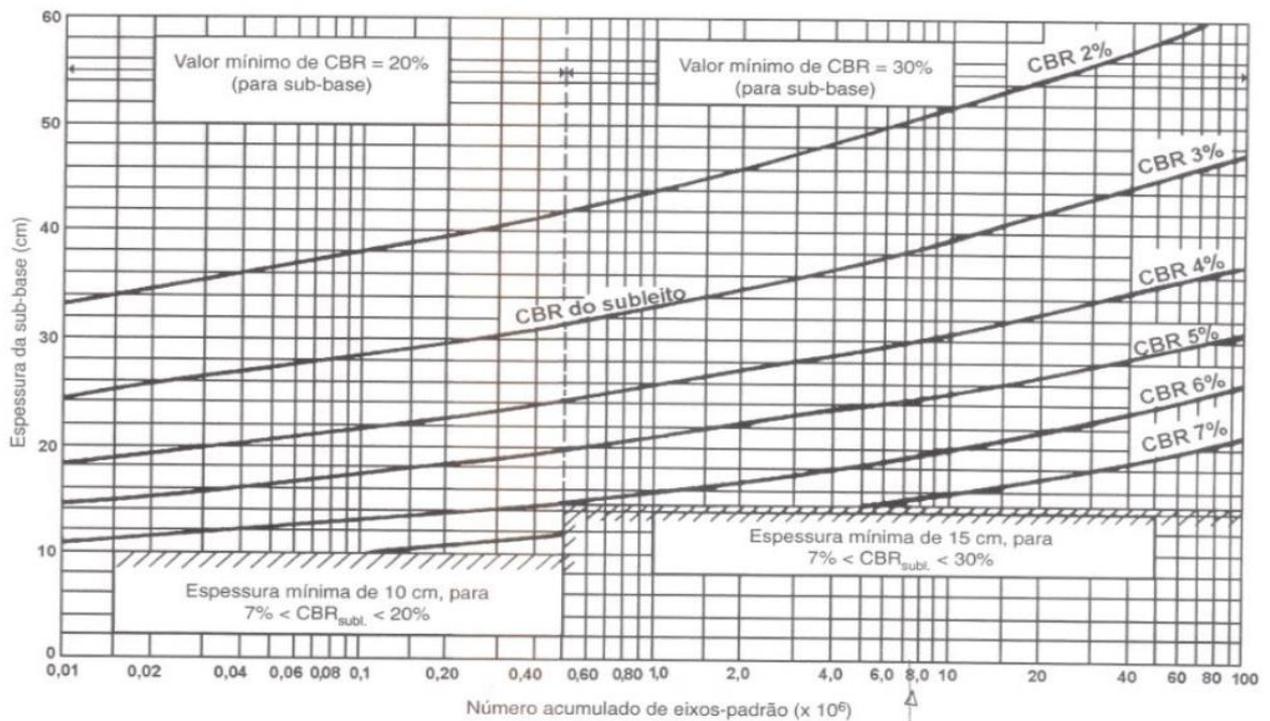
2.12.1 1º Ábaco

O ábaco a seguir, proporciona às espessuras necessárias para a camada de sub-base, conforme o CBR do subleito e do número de solicitações por eixo padrão.

Quando o $N < 5 \times 10^5$, o material de sub-base deve apresentar um valor de CBR $\geq 20\%$; se o subleito natural apresentar CBR $\geq 20\%$ fica dispensado à utilização da camada de sub-base.

Quando o $N \geq 5 \times 10^5$, o material da sub-base deve apresentar um valor de CBR $\geq 30\%$; se o subleito apresentar CBR $\geq 30\%$, fica dispensada a utilização de camada de sub-base. (CARVALHO, 1998).

Figura 14 – Espessura da Sub-base



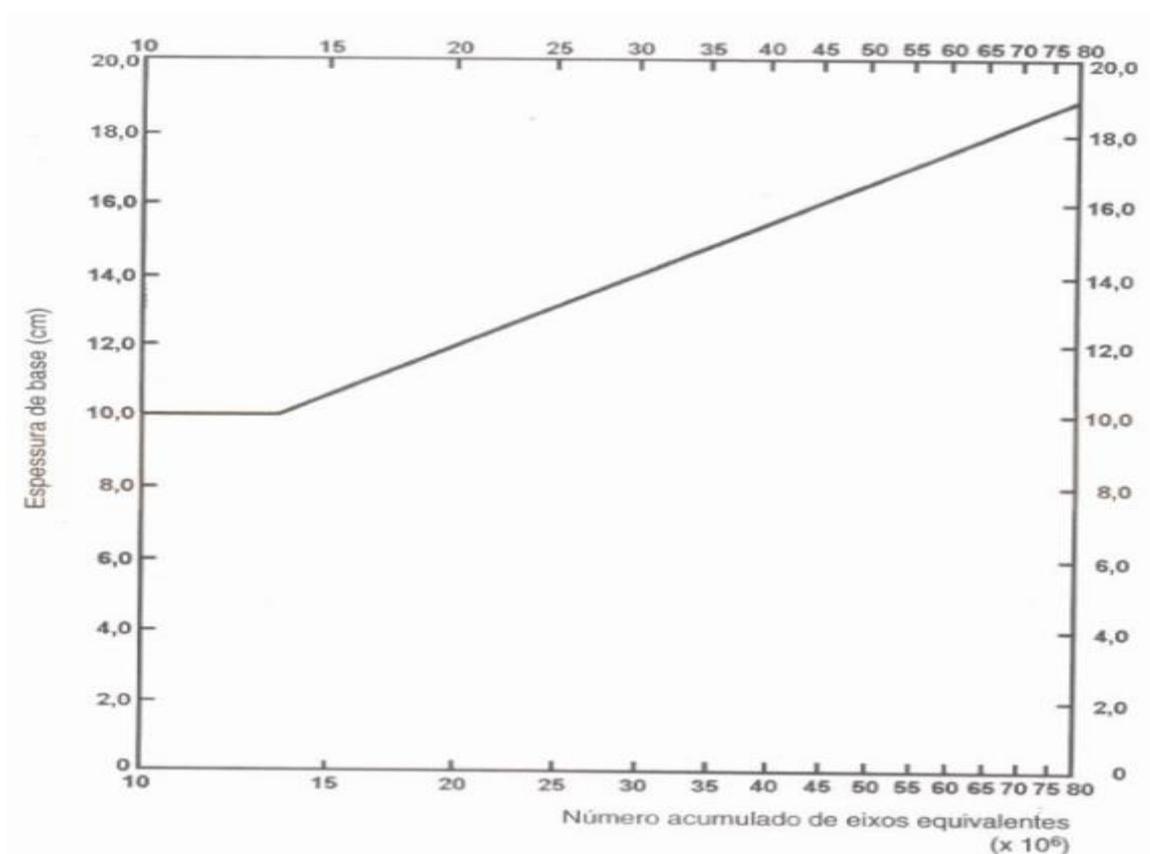
Fonte: Carvalho (1998).

2.12.2 2º Ábaco

O próximo ábaco determina a espessura da camada da base, em função do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão.

É necessário observar que quando o número de solicitações for menor que $1,5 \times 10^6$ a camada de base não é necessária. Conforme Carvalho (1998) a camada de Base deve ter uma espessura de no mínimo 10 cm quando está compreendida entre $1,5 \times 10^6$ e 10^7 .

Figura 15 – Espessura da Base



Fonte: Carvalho (1998)

2.13 PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO B (PCA)

O procedimento da PCA (Portland cement association) é baseado em pesquisas feitas na Austrália, África do Sul e Estados Unidos, em laboratórios de pistas experimentais, onde todo desenvolvimento do pavimento foi acompanhado. Seu desenvolvimento foi realizado pelos Engenheiros do Exército Americano. (IP, 2004).

E recomendado para dimensionamento de vias com tráfego médio e meio pesado, adota-se neste procedimento o princípio de que as camadas a partir do

subleito são colocadas em ordem crescente de resistência, assim reduzem a um mínimo as deformações verticais permanentes.

O procedimento é uma evolução do método USACE, de pavimentos flexíveis, levando em conta o intertravamento dos blocos e a resistência crescentes das camadas. Admite-se base granular tratada com cimento, com fator de equivalência estrutural de 1,65 (IP, 2004)

A classificação da via é em função do Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito e o cálculo do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão "N", através de figura 16 é possível determinar a espessura da base puramente granular (H_{BG}) assentada sobre o subleito.

Figura 16 – Espessura da Base puramente Granular

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H_{BG})										
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
(10 ¹)	27	21	17								
2 x 10 ³	29	24	20	17							
4 x 10 ³	33	27	23	19	17						
8 x 10 ³	36	30	25	22	19						
(10 ⁴)	37	31	26	23	20						
2 x 10 ⁴	41	34	29	25	22	17					
4 x 10 ⁴	44	37	32	28	24	19					
8 x 10 ⁴	48	40	35	30	27	21	17				
(10 ⁵)	49	41	36	31	28	22	18				
2x10 ⁵	52	44	38	34	30	24	19				
4x10 ⁵	56	47	41	36	32	26	21				
8x10 ⁵	59	51	44	39	34	28	23				
(10 ⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16			
2x10 ⁶	64	55	47	42	38	30	25	17			
4x10 ⁶	68	58	50	45	40	33	27	19			
8 x 10 ⁶	71	61	53	47	42	34	29	20			
(10 ⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21			

Mín. 15

Quando é determinado o valor do H_{BG} pode subdividi-lo em dois, aderindo uma camada de sub-base puramente granular e uma camada de base cimentada, onde terá uma espessura determinada em função do coeficiente estrutural ($K_B=1,65$). Para vias de tráfego pesado, recomenda-se bases com materiais mais nobres, o que permitirá uma redução das espessuras finais do pavimento.

Aconselha-se, também, uma espessura mínima nas camadas de bases:

- a) 15 cm para material puramente granular;
- b) 10 cm para materiais tratados com cimento;

A equação utilizada é a seguinte:

$$H_{ccr} = \frac{H_{bg} - H_{ccr}}{K_{ccr}}$$

Onde:

H_{bg} é a espessura da base granular

H_{ccr} é a espessura da base de concreto compactada com rolo

K_{ccr} é o fator de equivalência estrutural da base cimentada

2.14 PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO DO DNIT

Conforme o DNIT/IPR-714/2005, para dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento intertravado, costuma-se utilizar o método do CBR, onde só 50% da carga por roda é utilizada.

A equação a seguir determina a espessura do pavimento intertravado.

$$e = \frac{150 + 150x \sqrt{\frac{P}{2}}}{I_s + 5} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

e é a espessura total do pavimento, em cm

P é a carga por roda, em TF

I_s é o CBR do subleito, em %

Segundo o DNIT/IPR-714/2005, as peças pré-moldadas de concreto são assentadas em uma camada de areia ou pó de brita, com espessura de 4 cm. Esta camada e a espessura da peça são consideradas como base e revestimento do pavimento, onde a equação utilizada será:

$$e(\text{base} + \text{revestimento}) = e(\text{peça}) + 4$$

Com a espessura da base mais revestimento e espessura total conhecidas, conseguimos calcular a espessura da sub-base, utilizando a equação:

$$e(\text{sub} - \text{base}) = e - e(\text{base} + \text{revestimento})$$

As espessuras das peças pré-moldadas são de acordo com o tráfego que irá atuar no pavimento, é estabelecido pela norma NBR 9781/2013.

3 METODOLOGIA

O estudo de caso pode ser construído em cima de um ou poucos objetos, assim podendo alcançar um alto nível de detalhamento e aprofundamento do mesmo. (Gil, 2002).

Ainda segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser realizadas em dois grupos: de ordem intelectual ou de ordem prática. Os de ordem intelectual têm como objetivo o autoconhecimento e satisfação, e a de ordem prática fazem com que o objetivo seja alcançado de maneira mais eficaz.

3.1 ESTUDO DE CASO

O objeto de estudo utilizado é um condomínio de grande porte, localizado em Xangri-lá – RS. Trata-se de uma urbanização para uso residencial de lazer e mesmo de moradia permanente.

Segundo projeto, os pavimentos foram dimensionados para tráfego de veículos leves, e também, veículos pesados ocasionais e diários, tais como:

- Caminhões com materiais de construção;
- Caminhões de mudança;
- Caminhões de concreto;
- Caminhões de lixo;
- Caminhões prestadores de serviços;

Um mix de veículos compatibilizado com realidade do dia-dia.

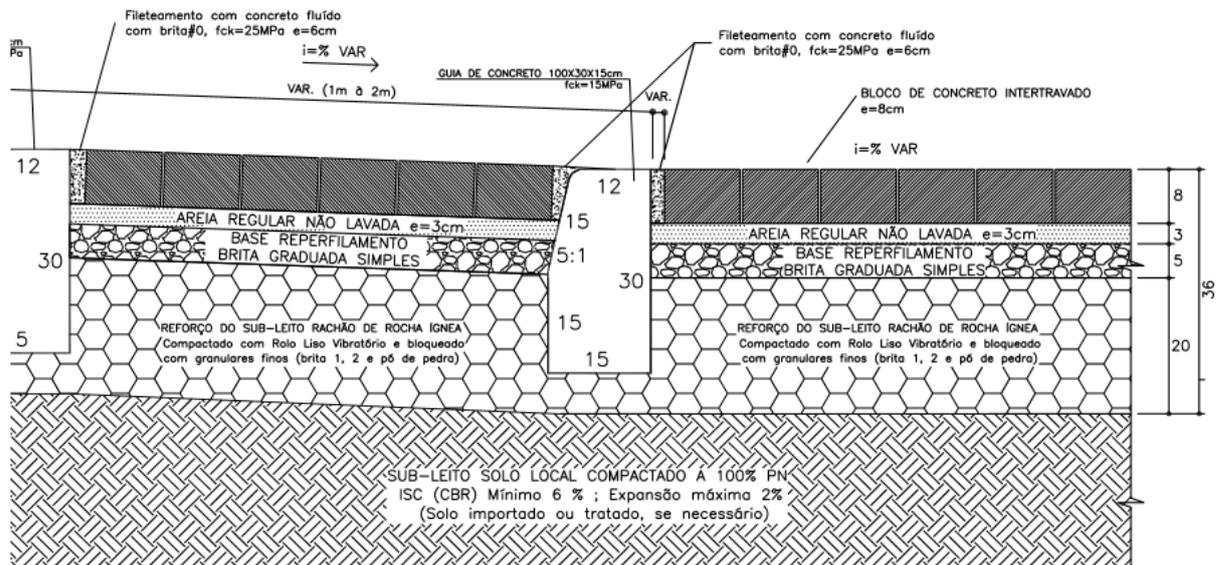
O dimensionamento foi realizado conforme o tradicional Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT. Conforme o projeto, as estruturas ficaram da seguinte forma:

Sub-Base- Camada de rachão britado, com espessura de 20 cm após a compactação, que também servirá para caminhos durante a execução da obra;

Base- Camada de brita graduada, com espessura de 5 cm após compactação e colocada imediatamente a camada de assentamento;

Camada de Assentamento- Areia não lavada, que depois de compactada não pode ultrapassar 3 cm de espessura.

Figura 17 – Espessuras das Camadas

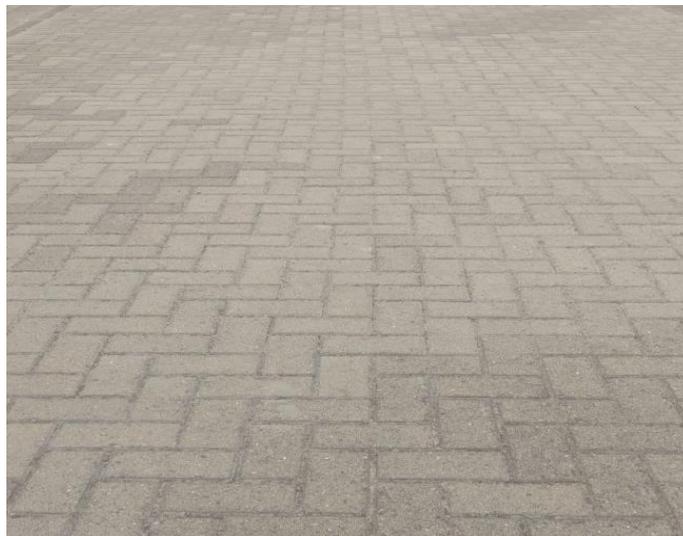


Fonte: Autor

Revestimento- Peça pré-moldada de concreto com espessura de 8 cm e um FCK mínimo de 35 MPA, rejuntamento imediato com areia fina, por varrição e compactação mecânica, o modelo de assentamento das peças são do tipo espinha-de-peixe.

As separações entre as faixas veiculares e de pedestres foram feitas com tentos de concreto pré-moldados enterrados diretamente na areia subjacentes ao subleito. Escolheu este tipo de peça por ter facilidade de encontrá-las no mercado.

Figura 18 – Modelo Espinha de Peixe



Fonte: Autor

3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Para um bom dimensionamento do pavimento é fundamental conhecer as características do solo, para obter essa informação são necessários alguns métodos e ensaios laboratoriais. A primeira identificação é feita visualmente ainda na sondagem e pode ser classificada como qualitativa. Os ensaios de laboratório necessários para os projetos são: Análise granulométrica, limites de consistência, compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão, são classificados como análise quantitativa.

Os materiais retirados da sondagem são levados para o laboratório, onde as amostras são preparadas de acordo com as especificações do DNER-ME 041/94.

A amostra poderá ser seca ao ar livre ou com secador de modo a não ultrapassar 60°, após os torrões são decompostos totalmente no almofariz com o auxílio da mão de grau recoberta com borracha, não podendo reduzir o tamanho original das partículas individuais do solo.

Utilizando o repartidor de amostras ou pelo processo de quarteamento, o material é reduzido até se obter a amostra representativa, 1500g para solos argilosos ou siltosos e 2000g para solos arenosos. Esta amostra é separada em duas com os seguintes objetivos: a) Análise granulométrica, umidade higroscópica e densidade real; e b) Limite de liquidez, plasticidade e fator de contração;

O material é passado na peneira 2mm e reservado para a análise específica. Para determinar o teor de umidade é necessário deixar a amostra secar em uma estufa elétrica, com temperatura constante de 110°C ± 5°C por um período de 15 a 16 horas, para o cálculo do teor de umidade utiliza-se a equação.

$$h = 100 \times \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_b - m} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

h é o teor de umidade (%);

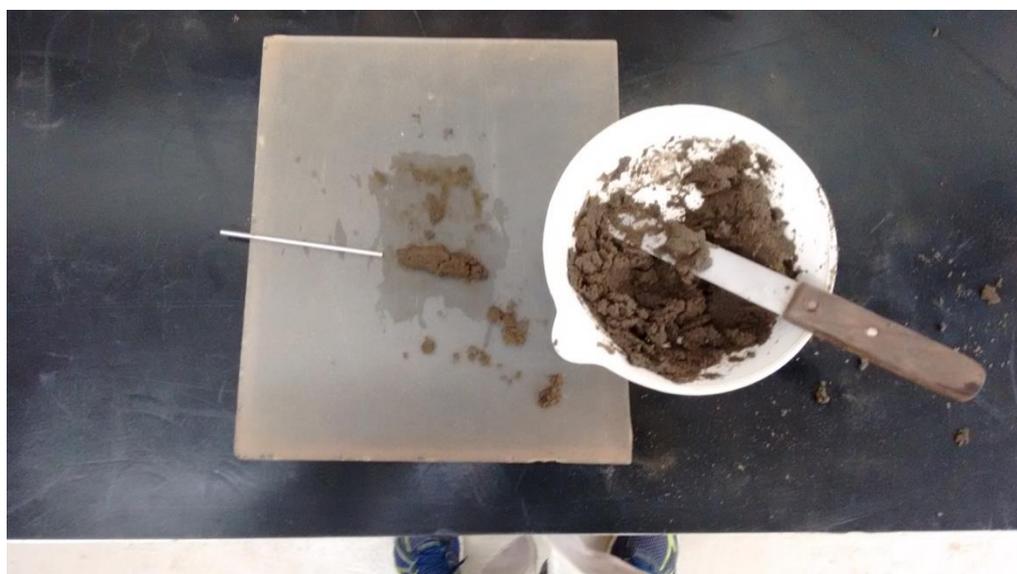
m_{bu} é a massa úmida bruta correspondente a massa do recipiente mais a massa da amostra úmida (g);

m_{bs} é a massa seca bruta correspondente a massa do recipiente mais a massa da amostra seca (g)

m é a massa do recipiente (g)

Para classificar os solos em um projeto de dimensionamento, os limites de consistência ou Atterberg são de grande importância. O ensaio de limite de plasticidade a amostra é posicionado em uma cápsula, coloca-se água até ficar na forma plástica, com o auxílio da placa de vidro é moldado um cilindro uniforme com diâmetro de 3 mm e 10 cm de comprimento. O teor de umidade até a forma plástica é o limite de Plasticidade (LP), este ensaio é realizado conforme as especificações do DNER-ME 082/94.

Figura 19 – Ensaio de Limite de plasticidade



Fonte: Autor

Conforme o DNER-ME 122/94 o ensaio de limite de liquidez é feito em uma amostra de solo, essa amostra é colocada em uma concha metálica com base de ebonite, chamado de aparelho de Casagrande, são divididas em duas metades por um cinzel e colocadas em queda de aproximadamente 1 cm altura, chamado de “golpe”, são necessários cerca de 25 golpes. O limite de liquidez é a mudança do estado plástico para o estado líquido expresso em percentagem.

Dois métodos podem descrever os ensaios de análise granulométrica, o DNER-ME 80/94 que apresenta um procedimento através do peneiramento, um método simples que não consegue verificar as partículas menores 0.075 mm que passam na peneira #200. O método do DNER-ME 51/94 é feito por sedimentação que utiliza o material passante na peneira #200. O ensaio de análise

granulométrica por peneiramento é aceitável para maioria dos projetos de estrada, quando é necessário um maior detalhamento utiliza-se a sedimentação, conforme o procedimento de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo método do DNER-PRO 269/94.

Figura 20 – Ensaio de análise Granulométrica



Fonte: Autor

Os ensaios de Compactação ou de Proctor são feitos por dois métodos diferentes, o DNER-ME162/94 que utiliza amostras trabalhadas, ou seja, reutiliza o material do corpo de prova, a amostra é destorroada, adiciona água até ficar homogêneo e novamente faz a compactação, já o método do DNIT 164/2003-ME usa amostras não trabalhadas, a cada compactação uma nova amostra é utilizada. As energias de compactação são divididas em três níveis diferentes: A) método normal com 12 golpes por camada: B) método intermediário com 26 golpes por camada: e C) método modificado com 55 golpes por camada. Para execução do ensaio é necessário fixar o molde a uma base plana e resistente, colocar a amostra no molde e compactar utilizando as diferentes energias de compactação. Após a compactação, o material aderente ao cilindro é retirado com o auxílio de uma espátula, com uma régua é retirado o material em excesso deixando o molde na altura exata. Terminado o

procedimento é pesado o conjunto molde mais massa, como o peso do molde é conhecido, pode ser calculada a massa específica aparente seca da amostra. O resultado característico do ensaio é uma curva em formato de um sino, o ponto máximo define os parâmetros de compactação.

Figura 21 – Ensaio de Compactação



Fonte: Autor

O ensaio conhecido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), segundo o DNER-ME 049/94 é utilizada amostra deformada não trabalhada para a determinação do suporte dos materiais e a sua expansão, para tal determinação é feito a compactação no cilindro grande, a amostra fica dentro do molde durante todo procedimento, o conjunto fica submerso na água ao longo de 4 dias o que determina a expansão do material. É levado a uma prensa padronizada e faz a penetração do pistão que utiliza uma carga de aproximadamente 4,5 kg, por fim é comparado com a amostra, o que resulta na capacidade de suporte do material.

Figura 22 – Ensaio de Índice de Suporte Califórnia



Fonte: Autor

3.3 NÚMERO DE SOLICITAÇÕES EQUIVALENTES AO EIXO PADRÃO (N)

3.3.1 Contagem Volumétrica ou Classificatória

São pesquisas que visam caracterizar detalhadamente o tráfego da via, os veículos são registrados por tipo, identificando o número de eixos e se o veículo é articulado ou não. Esta pesquisa é fundamental para o cálculo do número de solicitações equivalente ao eixo padrão, número (N).

Essa contagem é feita manualmente por pesquisadores utilizando fichas e contadores manuais. (DNIT/IPR-723, 2006).

A tabela 4 mostra os coeficientes k_1 e k_2 para cada tipo de eixo. Quando não se tem as informações de carregamento recomenda-se um fator de carga de 1,7, mas essa consideração dificilmente é aceita em projetos de rodovias. (DNIT/IPR-723, 2006).

$$FC = K_1 x P^{k_2} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

FC é o fator de carga

P é o peso em toneladas força (tf)

K1 e K2 coeficientes conforme tabela 4

Tabela 4 – Fatores de Equivalência de Carga

Tipos de eixo	Faixas de carga	K_1	K_2
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$2,0782 \times 10^{-4}$	4,0175
	≥ 8	$1,8320 \times 10^{-6}$	6,2542
Tandem duplo	0 – 11	$1,5920 \times 10^{-4}$	3,472
	≥ 11	$1,5280 \times 10^{-6}$	5,484
Tandem triplo	0 - 18	$8,0359 \times 10^{-5}$	3,3549
	≥ 18	$1,3229 \times 10^{-7}$	5,5789

Fonte: DNIT/IPR-723/2006

Tabela 5 – Carga máxima por eixo

ESRS-6 – Eixo Simples com Rodagem Simples com Peso de 6 toneladas
ESRD-10 – Eixo Simples com Rodagem Dupla com Peso de 10 toneladas
ETD-17 – Eixo Tandem Duplo com Peso de 17 toneladas
ETT-25,5 – Eixo Tandem Triplo com peso de 25,5 toneladas

Fonte: DNIT/IPR-723/2006

Utilizando a equação e os coeficientes acima, é possível determinar o fator de carga por eixo, viabilizando, ainda, a execução da média ponderada por classe. (DNIT/IPR-723, 2006).

3.3.4 Fator de Eixo

O fator de eixo é a quantidade de eixos que compõe a frota, para determinar o fator de eixo não necessita de equipamentos e nem parada dos veículos para

entrevistas, a contagem volumétrica e classificatória fornece todos os dados necessários para essa determinação. Pode ser calculado a partir da equação: (DNIT/IPR-723, 2006)

$$FE = \frac{2 \times P_2}{100} + \frac{3 \times P_3}{100} + \dots + \frac{n \times P_n}{100} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

FE é o Fator de eixo;

P2 é o Número de veículos com 2 eixos;

P3 é o Número de veículos com 3 eixos;

P4 é o Número de veículos com 4 eixos;

3.3.5 Fator Climático

O fator climático representa a influência do clima no desempenho da rodovia, principalmente no que diz respeito à pluviometria do local do estudo, o que reflete na umidade de equilíbrio do pavimento. (DNIT/IPR-723, 2006)

Tabela 6 – Fator Climático

Altura média anual de chuva (mm)	Fator climático regional (FR)
Até 800	0,7
De 800 a 1500	1,4
Mais de 1500	1,8

Fonte: Senço (2008)

3.3.6 Número N

As características do tráfego influenciam diretamente no dimensionamento dos pavimentos. As diferentes características que os veículos possuem, são registradas com as pesquisas e é transformada em um número de passagens por eixo padrão.

O número de passagens equivalentes ao eixo padrão é chamado de Número N e pode ser calculada com a seguinte equação. (DNIT/IPR-723, 2006)

$$N = 365 \times P \times VMD \times FC \times FE \times FR \quad \text{Equação (5)}$$

3.4 DETERMINAÇÃO DO AGREGADO PARA A CAMADA DE ASSENTAMENTO

A camada de assentamento do pavimento intertravado é composta por agregado miúdo. A amostra é seca em estufa (110±5) deixando esfriar em temperatura ambiente, logo depois as peneiras são encaixadas de forma crescente da base para o topo, assim fazendo a agitação mecânica do conjunto por aproximadamente 1 minuto. (DNER ME 083/98). A figura 5 na página 22 mostra as porcentagens passantes nas devidas peneiras.

Figura 24 – Peneiramento Agregado Miúdo



Fonte: Autor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)

Para determinação do limite de plasticidade foram feitos 2 ensaios em dias diferentes, como o solo era muito arenoso o resultado do limite de plasticidade foi o de solo (NP) não plástico.

4.2 LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)

Conforme DNER-ME 082/94 o ensaio de limite de plasticidade é feito antes do limite de liquidez quando o solo for extremamente arenoso, se o limite de plasticidade não puder ser determinado, ambos são (NP) não plásticos.

4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Na análise granulométrica, foi utilizado o método do DNER-ME 80/94 por peneiramento, não ficou nenhum material retido no peneiramento grosso, ou seja, nas peneiras 50- 38- 25- 19- 9,5- 4,8- 2,0 mm os materiais passaram 100%.

Os resultados obtidos no peneiramento fino estão descritos na tabela 7:

Tabela 7 – Peneiramento Fino

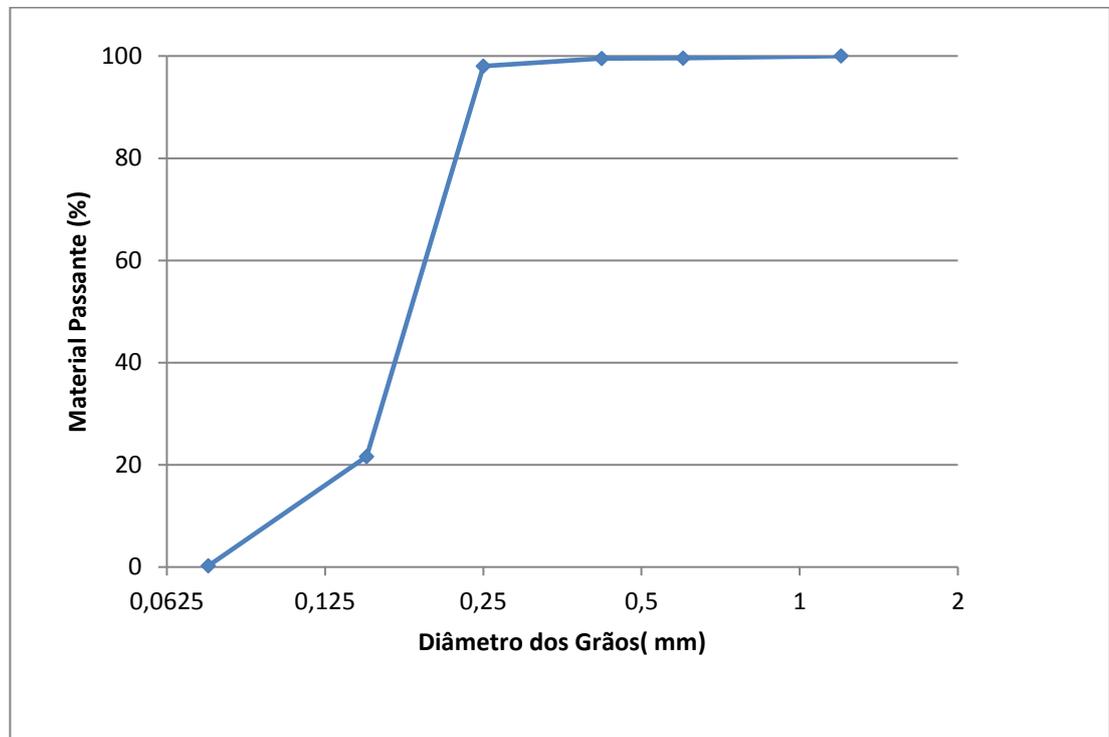
Peneiramento Fino				
Peneira				
Nº	mm	Material Retido	Material Acumulado	Material Passado (%)
16	1.2	0	0	100
30	0.6	0.26	0.26	99.6
40	0.42	0.07	0.33	99.5
60	0.25	0.92	1.25	98.1
100	0.15	49.07	50.32	26.2
200	0.075	19.50	69.82	0,25

Fonte: Autor

Em vista dos resultados mencionados anteriormente pelo ensaio de peneiramento fino, é possível montar o gráfico 1, em função do diâmetro dos grãos

VS o material passante, por ser um solo extremamente arenoso não houve material passante na peneira 0,075 mm.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica



Fonte: Autor

Para a classificação do solo, foi utilizado o sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation officials).

Figura 25 – Classificação do solo

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

Fonte: Autor

O solo foi classificado como A-3 areia fina de praia sem silte ou argila, solo não plástico e como subleito é um material bom a excelente.

4.4 COMPACTAÇÃO (PROCTOR)

Foram realizados dois ensaios de compactação, foi executado com o cilindro pequeno e utilizando o método intermediário para compactação com energia de 26 golpes por camada, usando amostras trabalhadas. As tabelas 8, 9, 10, 11, mostram os resultados:

Tabela 8 – Dados de compactação ensaio 1

Ensaio nº	1	2	3	4	5	6
Peso da Amostra e Molde (g)	6080	6200	6295	6335	6355	6405
Peso do molde (g)	4435	4435	4435	4435	4435	4435
Peso da amostra compactada (g)	1645	1765	1860	1900	1920	1970
Volume do Molde (cm ³)	998.15	998.15	998.15	998.15	998.15	998.15
Peso Específico Úmido (g/cm ³)	1.648	1.768	1.863	1.904	1.924	1.974
Peso Específico Seco (g/cm ³)	1.577	1.682	1.717	1.705	1.695	1.650

Fonte: Autor

Tabela 9 – Umidade de Moldagem pelo método estufa ensaio 1

Nº	1	2	3	4	5	6
cápsula	8.99	6.83	8.53	6.26	8.33	6.74
cápsula+ solo úmido (g)	22.83	23.17	28.21	25.75	31.26	30.65
cápsula+ solo seco (g)	22.23	22.37	26.66	23.72	28.53	26.73
água (g)	0.6	0.8	1.55	2.03	2.73	3.92
solo úmido (g)	13.84	16.34	19.68	19.49	22.93	23.91
solo seco (g)	13.24	15.54	18.13	17.46	20.2	19.99
umidade (%)	4.53	5.15	8.55	11.63	13.51	19.61

Fonte: Autor

Tabela 10 – Dados de compactação ensaio 2

Ensaio nº	1	2	3	4	5
Peso da Amostra e Molde (g)	6140	6210	6275	6300	6350
Peso do molde (g)	4460	4460	4460	4460	4460
Peso da amostra compactada (g)	1680	1750	1815	1840	1890
Volume do Molde (cm ³)	998.35	998.35	998.35	998.35	998.35
Peso Específico Úmido (g/cm ³)	1.683	1.753	1.818	1.843	1.893
Peso Específico Seco (g/cm ³)	1.615	1.655	1.682	1.677	1.516

Fonte: Autor

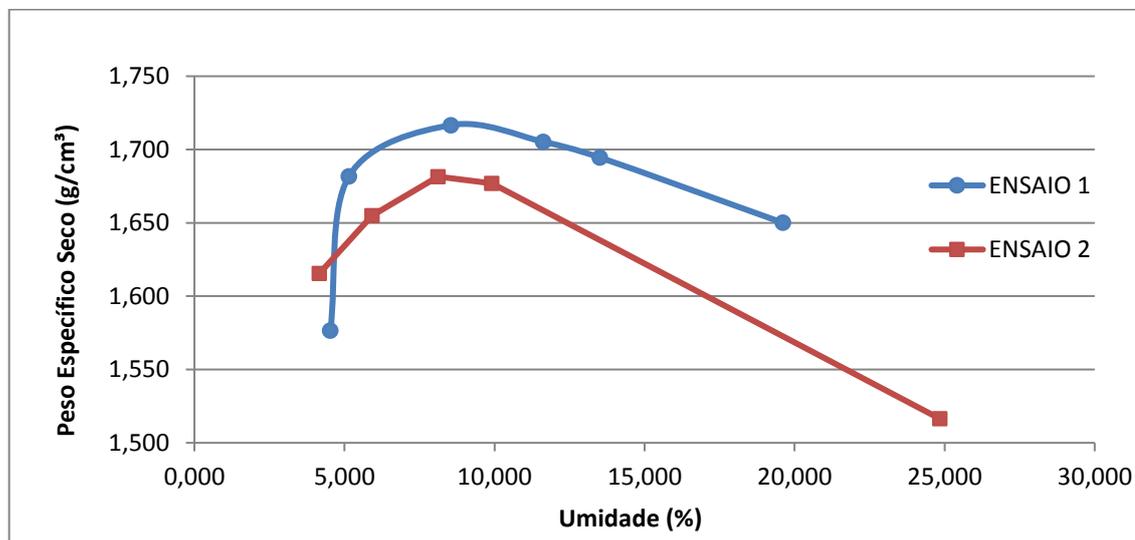
Tabela 11 – Umidade de Moldagem pelo método estufa ensaio 2

Nº	1	2	3	4	5
cápsula	7.02	8.32	7.17	7.34	8.62
cápsula+ solo úmido (g)	14.77	16.19	25.69	26.2	28.32
cápsula+ solo seco (g)	14.46	15.75	24.3	24.5	24.4
água (g)	0.31	0.44	1.39	1.7	3.92
solo úmido (g)	7.75	7.87	18.52	18.86	19.7
solo seco (g)	7.44	7.43	17.13	17.16	15.78
umidade (%)	4.167	5.922	8.114	9.907	24.842

Fonte: Autor

A partir dos dados de Peso Específico Aparente Seco e teor de umidade dos pontos, traçou-se a curva de compactação.

Gráfico 2 – Curva de Compactação



Fonte: Autor

O Peso Específico Seco Máximo foi determinado graficamente, correspondendo a média do ponto máximo dos 2 ensaios da curva de compactação cujo valor encontrado foi de 1,70 g/cm³, conforme tabela 12.

Tabela 12 – Média dos resultados de Compactação

Média Umidade Ótima (%)	8.33
Média Peso específico seco máximo (g/cm ³)	1.70

Fonte: Autor

4.5 INDÍCE DE SUPORTE CALIFORNIA (ISC)

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia foi realizado juntamente com o ensaio de expansão, o valor obtido para ISC foi de 5,48% e a expansão foi de 0,17%, as tabelas 13 e 14 mostram os resultados:

Tabela 13 – Índice de Suporte Califórnia

Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura Defletômetro	Pressão (Kgf/cm ²)		ISC
			Calculada	Corrigida	
0	0.00	0	0		4.16%
0.5	0.63	6	0.873		
1	1.27	11	1.600		
1.5	1.9	15	2.182		
2	2.54	20	2.909		
3	3.81	32	4.273		5.48%
4	5.08	45	5.751		
6	7.62	60	7.456		
8	10.16	66	8.138		
10	12.7	69	8.479		

Fonte: Autor

A próxima tabela mostra os resultados obtidos no ensaio de expansão, o molde ficou submerso durante 4 dias. O relógio comparador era colocado a cada medida, assim devido a sua sensibilidade o resultado do ensaio de expansão não foi devidamente satisfatório.

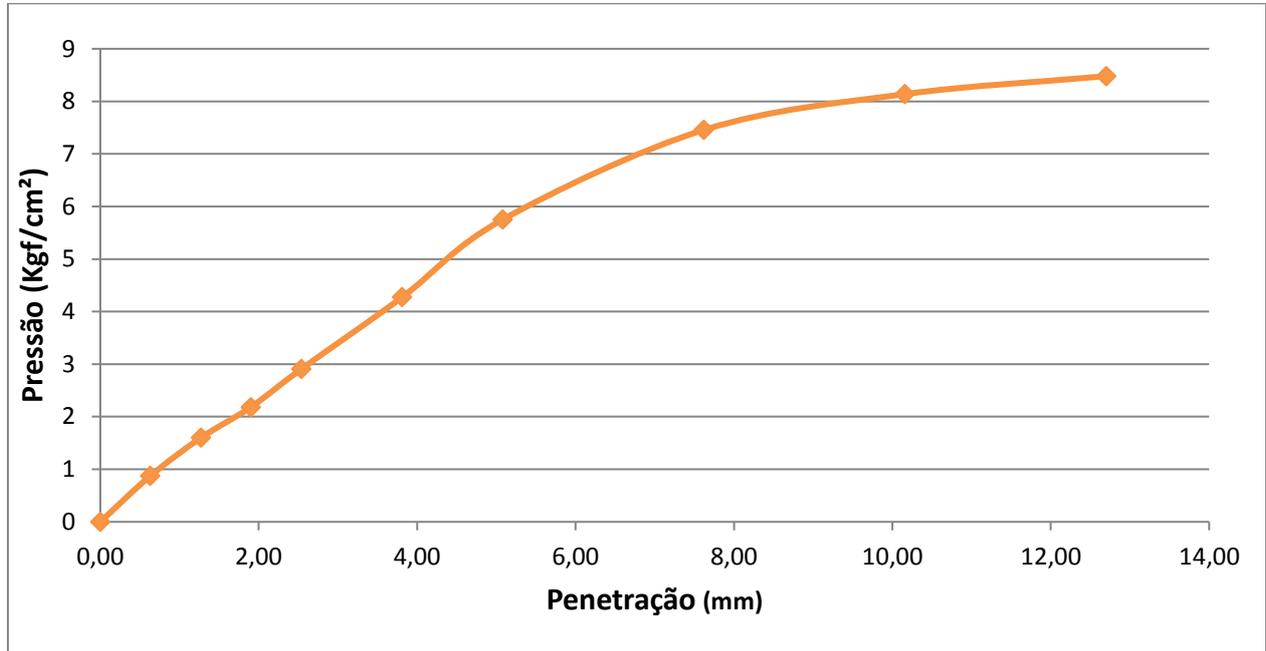
Tabela 14 – Resultados da Expansão

EXPANSÃO				
Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença de leitura (ld)	Expansão
22/out	15:10	5.56	0.19	0.17%
23/out	19:12	5.56		
24/out	19:10	5.56		
25/out	19:10	5.6		
26/out	15:10	5.75		

Fonte: Autor

O gráfico a seguir mostra a curva de pressão- penetração:

Gráfico 3 – Curva Pressão – Penetração



Fonte: Autor

4.6 VOLUME DIÁRIO MÉDIO (VDM)

A empresa que presta serviço para condomínio forneceu a quantidade de veículos que entraram na portaria na quarta-feira dia 10 de outubro de 2018. A tabela 15 a seguir mostra a quantidade de veículos por dia.

Tabela 15 – Quantidade de veículos por dia

CLASSE	VEÍCULO	10/10/2018
2C	Automóvel	187
	Camionete e Van	19
2C(16)		15
2C(20)		1
3C		13

Fonte: Autor

4.7 FATOR DE CARGA (FC)

Utilizando a equação e os coeficientes do DNIT- IPR 726/2006, foi possível determinar o fator de carga por eixo, viabilizando ainda, a execução da média ponderada por classe, estão descritas abaixo:

Utilizando P com o valor de 6 TF

$$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times 6^{4,0175} = 0,2779$$

Utilizando P com o valor de 8,2 TF

$$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times 8,2^{6,2542} = 0,9508$$

Tabela 16 – Fator de Carga

CLASSE	VEÍCULO						
2C	Automóvel						
	Camionete e Van	EDS	ETS	ETD	ETT		FC PONDERADA
2C(16)		0.2779	0.9508			0	0.61
2C(20)		0.2779	0.9508			0	0.61
3C		0.2779			1.9016	0	1.09
							0.8275

Fonte: Autor

A somatória das multiplicações das medias ponderadas e o número de veículos de cada classe é o fator de carga final. O valor encontrado foi de 0,8275.

4.8 FATOR DE EIXO (FE)

Foram contabilizados os veículos para 2 eixos, esses dados foram utilizados na equação 2 o que resultou em um fator de eixo de 2,000.

Tabela 17 – Fator de Eixo

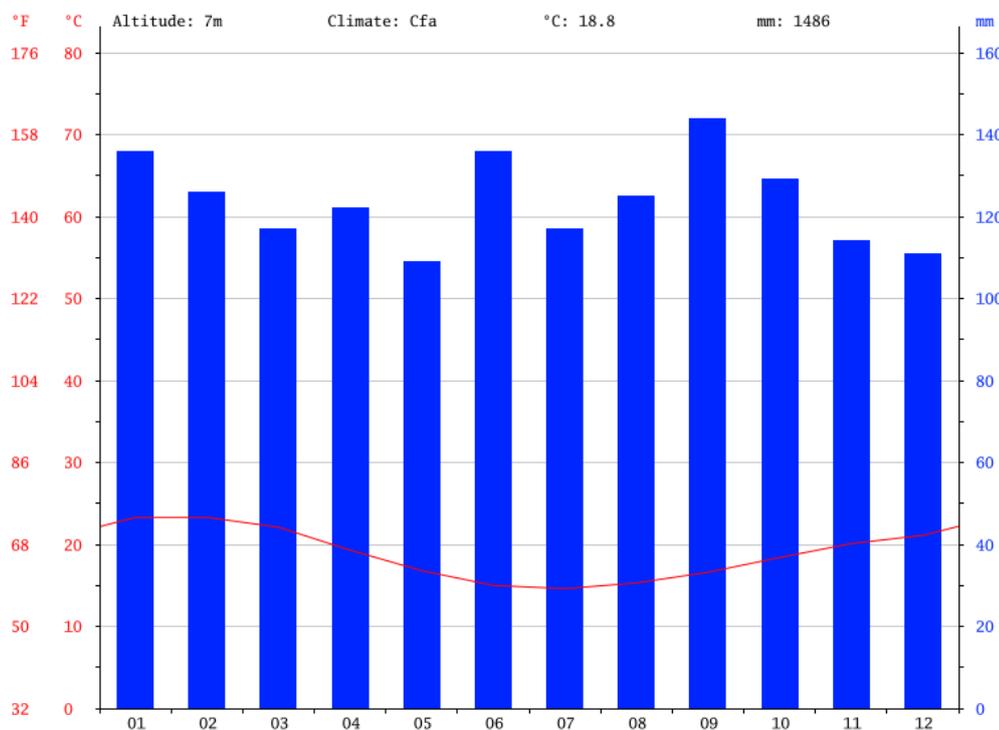
CLASSE	VEÍCULO	FE				Média ponderada
		2E	3E	4E	5E	
2C	Automóvel					2.000
	Camionete e Van					
2C(16)		15	-	-	-	
2C(20)		1				
3C		13	-	-	-	

Fonte: Autor

4.9 FATOR CLIMATICO

O fator climático representa a influência do clima no desempenho da rodovia, principalmente no que diz respeito à pluviometria do local do estudo. O local de estudo foi à cidade de Xangri-lá. Logo, o fator considerado foi de 1,4 conforme a altura média de chuva.

Gráfico 4 – Precipitação Xangri-lá



Fonte: Clima date (texto digital)

4.10 NÚMERO DE SOLICITAÇÕES EQUIVALENTE AO EIXO PADRÃO (N)

A vida útil da rodovia é de 10 anos conforme especificado no projeto, logo com todos os dados obtidos o resultado ficou:

$$N = 365 \times 10 \times 29 \times 0,82 \times 2 \times 1,4 \quad \text{Equação (6)}$$

O número de solicitações equivalentes ficou $2,45 \times 10^5$.

Segundo a Prefeitura Municipal de São Paulo por meio da Instrução de Projeto-04, o tráfego do condomínio foi caracterizado como tráfego médio não excedendo 100 caminhões por dia.

4.11 MATERIAL UTILIZADO NA CAMADA DE ASSENTAMENTO

O material utilizado para fazer a camada de assentamento foi o pó de brita, o ensaio de peneiramento foi feito com uma quantidade de material de 600 gramas

Tabela 18 – Peneiramento do Agregado miúdo para camada de assentamento

Granulometria agregado miúdo		Material (g) 600		
Peneira				
Nº	mm	Material Retido (g)	Material Acumulado (g)	Material retido (%)
3/8"	9.5	0	0	0
4	4.8	11.2	11.2	1.87
8	2.4	66.7	77.9	11.12
16	1.2	138.4	216.3	23.07
30	600µm	115.1	331.4	19.18
50	300µm	106.6	438	17.77
100	150µm	108.5	546.5	18.08

Fonte: Autor

Conforme as especificações do DNER-EM 038/98, o pó de brita pode ser utilizado na camada de assentamento.

Tabela 19 – Determinação do material passante

Peneira		Material Passante DNER-EM 038/98	Passante(%)
Nº	mm		
3/8"	9.5	100	100
4	4.8	95-100	98.13
8	2.4	80-100	87.02
16	1.2	50-85	63.95
30	600µm	25-60	44.77
50	300µm	10-30	27.00
100	150µm	2-10	8.92

Fonte: Autor

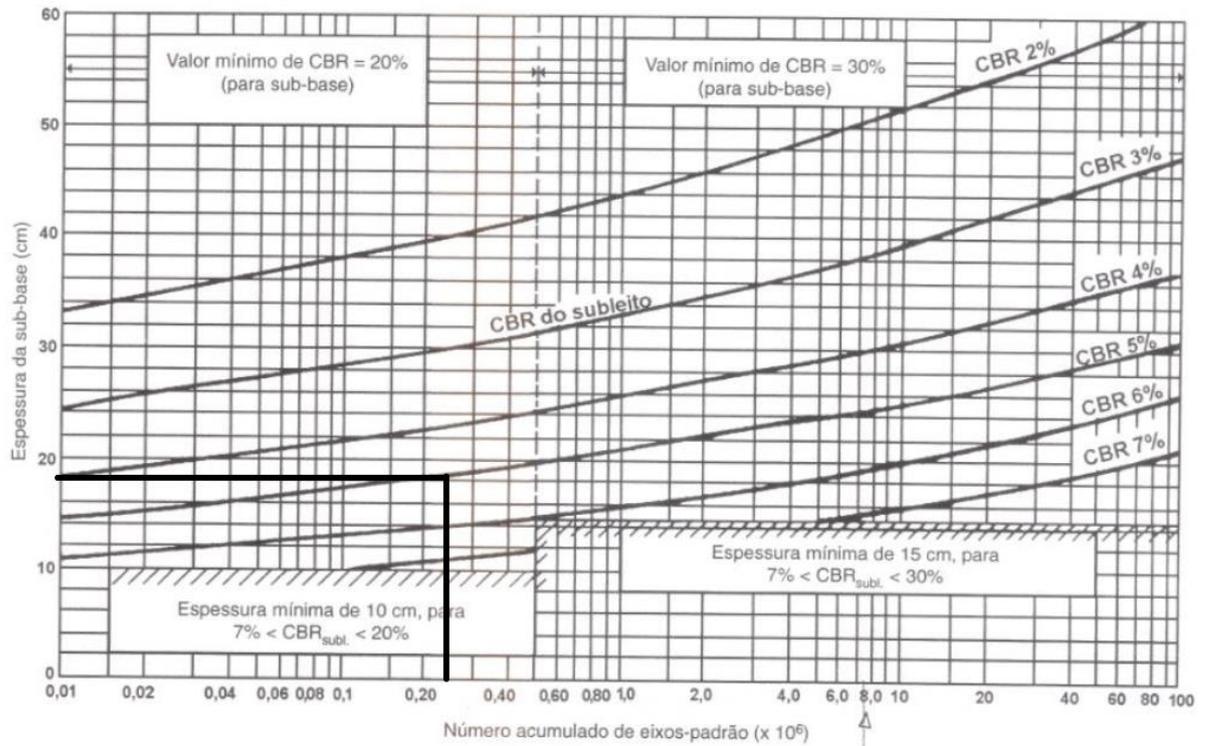
4.12 DIMENSIONAMENTO A (ABCP)

Com o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e o número de solicitações equivalentes do eixo padrão conhecidos, conseguimos fazer o dimensionamento das camadas de sub-base e Base.

4.12.1 Espessura da Sub-base

Utilizando o CBR de 5% e o número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de $2,45 \times 10^5$, conforme figura 26 a espessura mínima da camada de sub-base é de 18 centímetros.

Figura 26 – Espessura da camada de sub-base (ABCP)

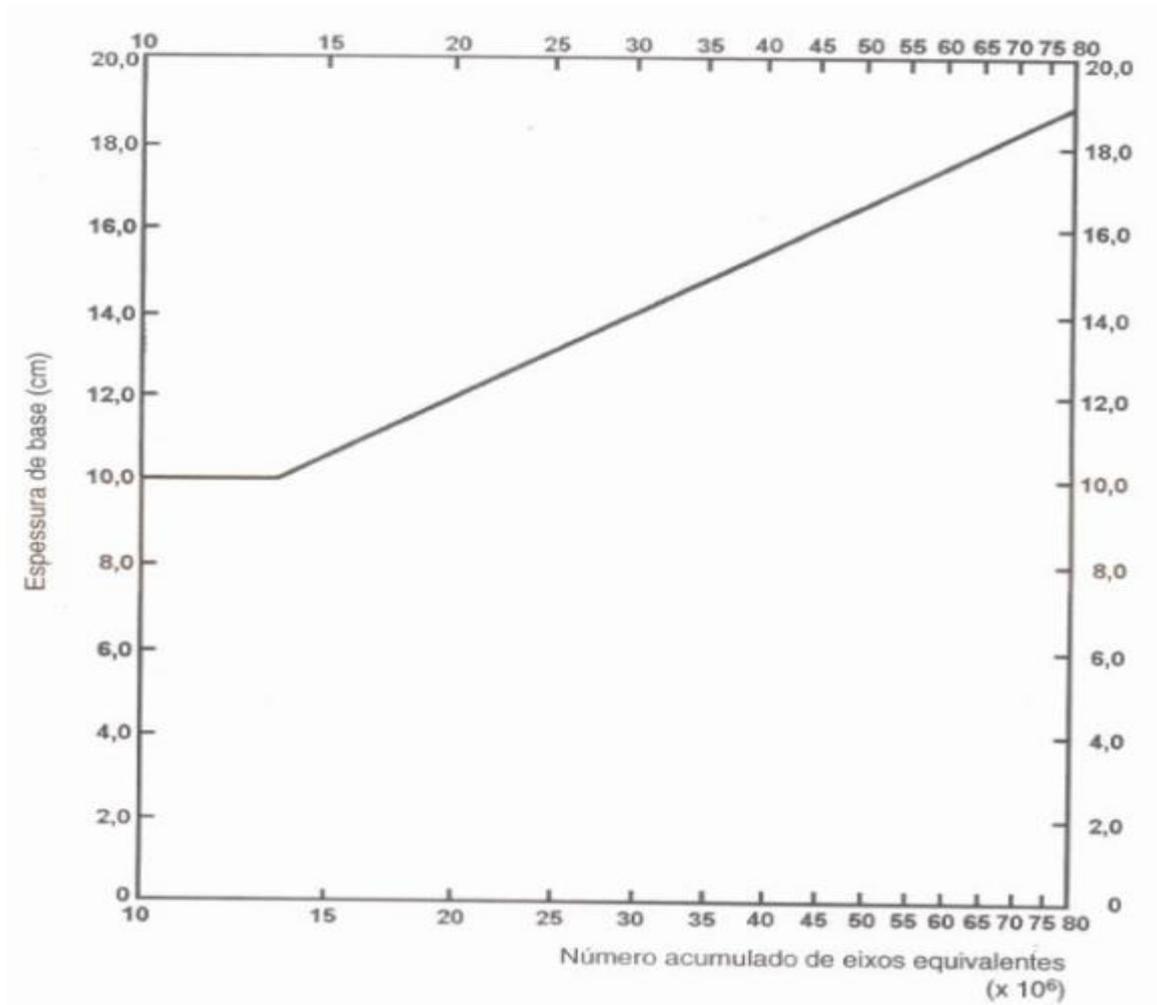


Fonte: Carvalho (1998)

4.12.2 Espessura da Base

A espessura da base é obtida através do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão, utilizado $2,45 \times 10^5$, a figura 27 mostra que não necessita camada de base devido ao baixo número N.

Figura 27 – Espessura da Camada de Base (ABCP)

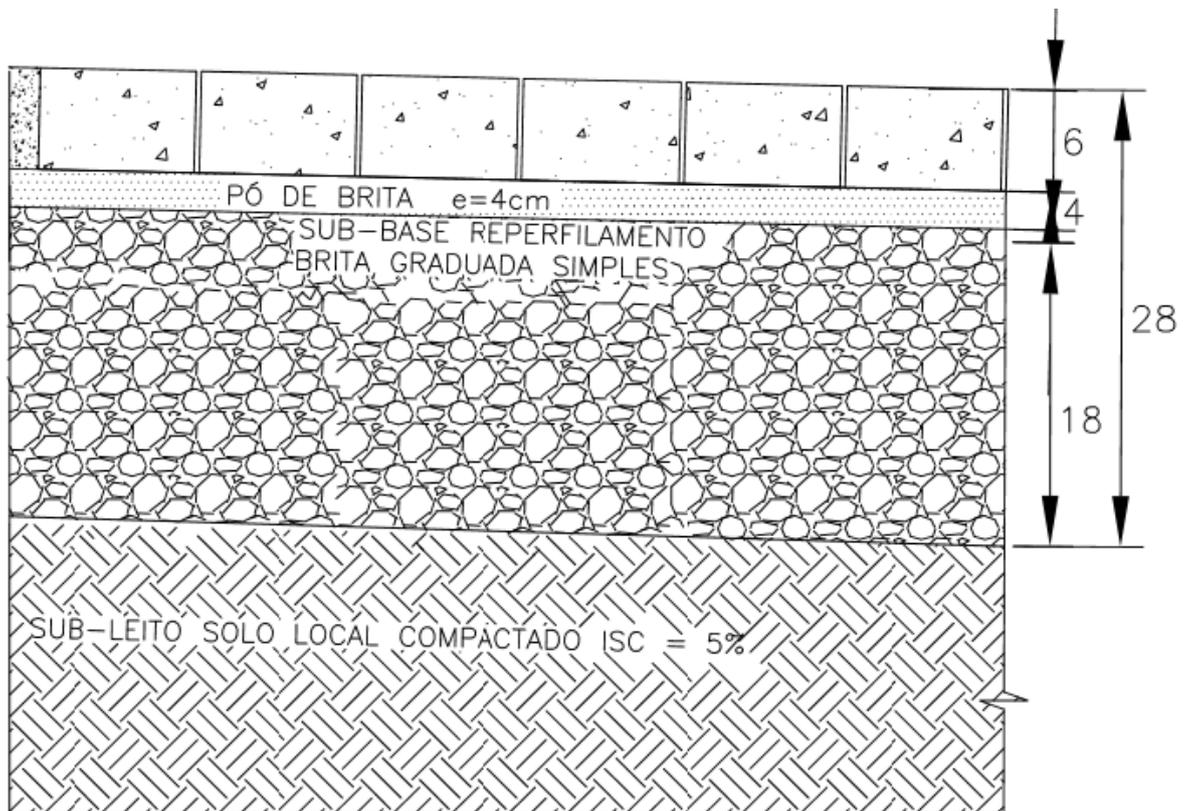


Fonte: Carvalho (1998)

4.12.3 Seção do Pavimento

A seção do pavimento pelo dimensionamento A (ABCP), ficou com as seguintes medidas.

Figura 28 – Seção do Pavimento conforme método ABCP



Fonte: Autor

Como observamos, o pavimento apresenta a seguinte estrutura:

- Subleito compactado com Índice de Suporte Califórnia com valor de 5%;
- Sub-base de brita graduada, com espessura de 18 centímetros;
- Camada de assentamento com pó de brita e espessura de 4 centímetros;
- Peça pré-moldada de concreto com espessura de 6 centímetros e resistência de 35 MPA, conforme Instrução de Projeto 06 da Prefeitura Municipal de São Paulo, tráfego menor que 5×10^5 .

4.13 DIMENSIONAMENTO B (PCA)

No dimensionamento B as variáveis continuam sendo o Índice de Suporte Califórnia e o número N.

4.13.1 Espessura da Base

O Índice de Suporte Califórnia igual a 5% e o número de solicitações equivalente ao eixo padrão igual a $2,45 \times 10^5$, a espessura da camada de base e definida a partir da figura 29.

Figura 29 – Espessura da Camada de Base (PCA)

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H_{BG})										
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
(10 ¹)	27	21	17								
2 x 10 ³	29	24	20	17							
4 x 10 ³	33	27	23	19	17						
8 x 10 ³	36	30	25	22	19						
(10 ⁴)	37	31	26	23	20						
2 x 10 ⁴	41	34	29	25	22	17					
4 x 10 ⁴	44	37	32	28	24	19					
8 x 10 ⁴	48	40	35	30	27	21	17				
(10 ⁵)	49	41	36	31	28	22	18				
2x10 ⁵	52	44	38	34	30	24	19				
4x10 ⁵	56	47	41	36	32	26	21				
8x10 ⁵	59	51	44	39	34	28	23				
(10 ⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16			
2x10 ⁶	64	55	47	42	38	30	25	17			
4x10 ⁶	68	58	50	45	40	33	27	19			
8 x 10 ⁶	71	61	53	47	42	34	29	20			
(10 ⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21			

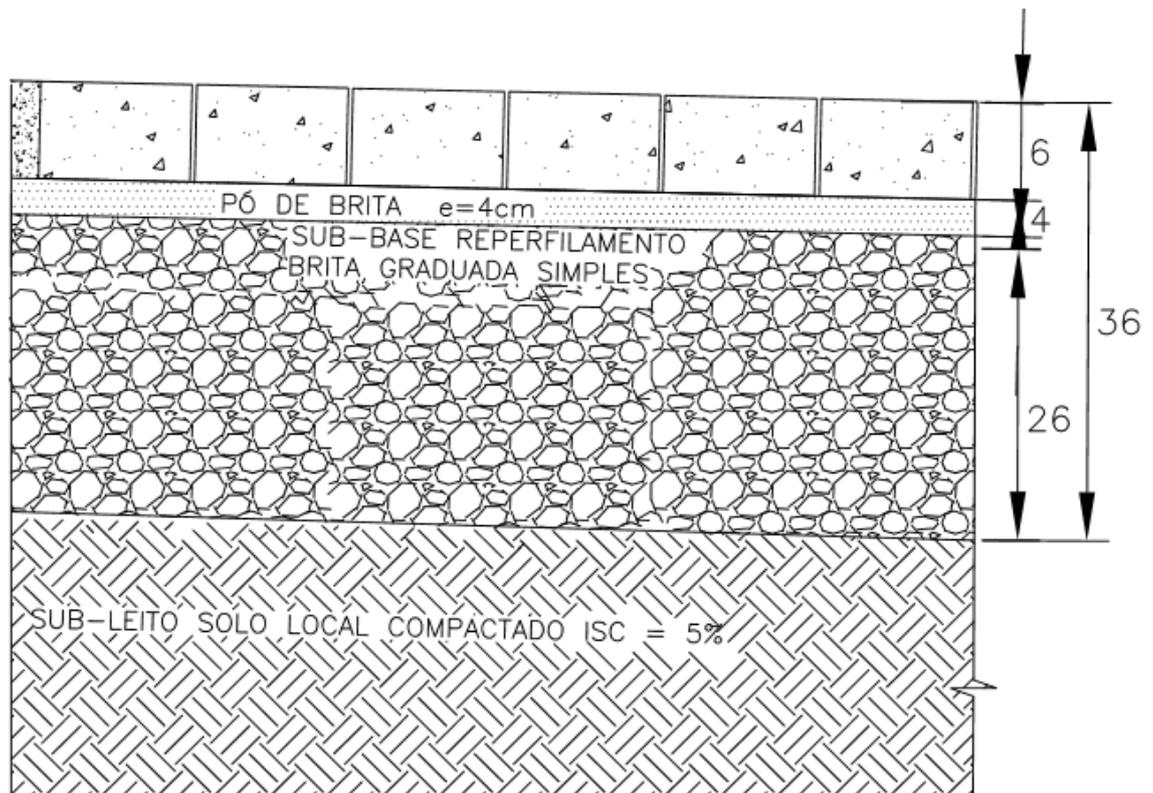
Mín. 15

Fonte: Autor

4.13.2 Seção do pavimento

A seção do pavimento pelo dimensionamento B (PCA), ficou com as seguintes medidas.

Figura 30 – Seção do Pavimento conforme método PCA



Fonte: Autor

Como podemos ver, a estrutura do pavimento ficou da seguinte forma:

- Subleito compactado com Índice de Suporte Califórnia com valor de 5%;
- Base com espessura de 26 centímetros, material utilizado é brita graduada;
- Camada de assentamento com pó de brita e espessura de 4 centímetros;
- Peça pré-moldada de concreto com espessura de 6 centímetros e resistência de 35 MPA, conforme tráfego menor que 5×10^5 .

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões referentes a esta pesquisa, que teve como objetivo dimensionar um pavimento intertravado em um Condomínio Residencial localizado na cidade de Xangri-lá- RS. Assim entende-se que os objetivos foram alcançados.

Referente à característica do solo, foi concluído que o solo do subleito é A-3, classificado pela AASHTO como areia fina de praia sem silte ou argila e como subleito é um material de excelente a bom, o solo teve um Índice de Suporte Califórnia de 5,48% e expansão de 0,17%.

A contagem volumétrica dos veículos foi feita durante 24 horas, a partir foi determinado o número de solicitações equivalentes ao eixo padrão, assim classificando como tráfego médio de acordo com a Instrução de Projeto 04 fornecido pela Prefeitura Municipal de São Paulo.

Com o ensaio de peneiramento da camada de assentamento, foi determinado que o pó de brita é um excelente material para esta camada, pois teve todas as porcentagens atendidas nas devidas peneiras, conforme o DNER-EM 038/97.

Para o dimensionamento do pavimento com peças pré-moldadas de concreto, o procedimento A (ABCP) teve a sub-base com 18 cm de espessura, conforme o baixo número N não necessitou da camada de base, a camada de assentamento ficou com 4 cm de espessura e a peça de 6 cm, totalizando 28 centímetros.

Para o dimensionamento com o procedimento B (PCA), teve como camada única de base com 26 cm, camada de assentamento de 4 cm e peça de 6 cm, totalizando 36 centímetros.

Comparando com o método do DNIT utilizado no condomínio em estudo, o procedimento da ABCP teve uma redução na espessura total de 8 cm, acredita-se que por ter diminuído a espessura da sub-base o pavimento terá uma deformação permanente maior, já o procedimento PCA a espessura total do pavimento ficou igual, apenas diminuiu a espessura do bloco devido ao baixo número de solicitações equivalentes ao eixo padrão

Conclui também que os métodos são muito parecidos, pois eles utilizam as mesmas variáveis para determinar as espessuras, que são o Índice de Suporte Califórnia e o número de solicitações equivalentes ao eixo padrão, além dos resultados serem aproximados. Também todos os métodos utilizados no trabalho são adaptações de métodos para pavimentos flexíveis.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos, seria indicado realizar o quantitativo de material para ter uma estimativa do custo por m² do pavimento intertravado.

Estudar diferentes tipos de materiais para compor a sub-base e base, assim podendo alcançar uma menor deformação permanente no pavimento.

Estudar qual o método de dimensionamento resultaria no melhor pavimento intertravado, com menores deformações permanentes.

Fazer um estudo das deformações ocorridas após a implantação do pavimento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto- Especificação. Rio de Janeiro, 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto: Parte 1 Requisitos. Rio de Janeiro, 2009
- ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Manual de Pavimento Intertravado**: Passeio Público. ABCP, São Paulo, 2010, 36p.
- BERNUCCI, L. P. et al. **Pavimentação asfálticas**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, 2006.
- CARVALHO. M.D. (1998). "**Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**." 4ª ed. São Paulo, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), 32p
- CLIMADATE. **Climograma de Xangri-lá - RS**. Disponível em: <<https://es.climate-data.org/location/43870/>> Acesso em 13 Out. 2018
- CRUZ, Luiz M. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento.2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- DNER-EM 038/97 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Material – **Agregado Miúdo Para Concreto de Cimento**.
- DNER-ME 041/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Pavimento - **Preparação das Amostras para Ensaio de Caracterização. Método de Ensaio**
- DNER-ME 049/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos – **Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Método de Ensaio**
- DNER-ME 051/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos – **Análise Granulométrica. Método de Ensaio**
- DNER-ME 080/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos – **Análise Granulométrica por peneira. Método de Ensaio**
- DNER-ME 080/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos - **Determinação do Índice de Plasticidade. Método de Ensaio**

DNER-ME 122/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos – **Determinação do Limite de Liquidez- Método de Referência e Método Expedito. Método de Ensaio**

DNER-ME 162/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos – **Ensaio de Compactação utilizando Amostras Trabalhadas. Método de Ensaio**

DNER-ME 213/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Solos - **Determinação do Teor de Umidade. Método de Ensaio.**

DNER-PRO 269/94 Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Projeto – **Restauração de Pavimentos Flexíveis. Procedimento.**

DNIT-IPR 714/2005 Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte/ Instituto de Pesquisa e Rodoviárias. **Manual de Pavimentos Rígidos.** Rio de Janeiro, 2005.

DNIT-IPR 719/2006 Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte/ Instituto de Pesquisa e Rodoviárias. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, 2006.

DNIT-IPR 723/2006 Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte/ Instituto de Pesquisa e Rodoviárias. **Manual de Estudo de tráfego.** 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

FIORITI, Cesar F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** 2007

FUNTAC (1999). **“Relatório Técnico – Setor Cerâmico do Vale do Acre”.** Rio Branco – Ac

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** Disponível em: <https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/Como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf>. Acesso em: maio de 2018

GODINHO, Dalter P. **Pavimento Intertravado:** uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade. 2009, 158 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MÜLLER, Rodrigo M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto.** 2005, 256 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005

PARATY. **Caminho do ouro.** Disponível em: <<http://www.paraty.com.br/caminho.asp>> Acesso em 4 abr. 2018

PETTERMANN, Rodrigo. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com Metacaulim e Sílica ativa**. 2006, 71 f. Monografia (Pós-Graduação) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Prefeitura Municipal de São Paulo – IP-02 – **Classificação das Vias**, São Paulo, 2004

Prefeitura Municipal de São Paulo – IP-06 – **Dimensionamento de Pavimentos Com Blocos Intertravados de concreto**, São Paulo, 2004

WIEBBELLING, Paula G. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: Estudo de caso na UNIVATES**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado- RS, 2015

APÊNDICE A- ENSAIO DE GRANULOMETRIA


UNISINOS

Guilherme TCC

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

Escola Politécnica

Laboratório de Mecânica dos Solos

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - ABNT NBR 7181:2016

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL = PENEIRAMENTO GROSSO				
Peneira		Amostra Total Úmida (Wt): g	Amostra Total Seca (Ws): g	Mat. Seco Retido nº10 (Wg): g
nº	mm	Material Retido (g)	Material Retido Acumulado Wi (g)	Material Passado Qg (%)
2"	50			
1 1/2"	38			
1"	25			
3/4"	19			
3/8"	9,5			
4	4,8			
10	2,0			P10 =

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL = PENEIRAMENTO FINO				
Peneira		Amostra Parcial Úmida (W): g	Amostra Parcial Seca (Ws): g	P10 = %
nº	mm	Material Retido (g)	Material Retido Acumulado Wi (g)	Material Passado Qf (%)
16	1,2	0	0	100
30	0,6	0,26	0,26	99,6
40	0,42	0,07	0,33	99,5
60	0,25	0,02	1,25	98,1
100	0,15	49,07	50,32	21,6
200	0,075	19,5	69,82	0,25

SEDIMENTAÇÃO										
Densímetro nº:			Temp. (°C)	Leitura (L)	Ld	a e a' (cm)	γ_w (g/cm³)	μ (g x s/cm²)	Diâmetro dos Grãos (mm)	Q = % da Amostra Total
Data	Hora	Δt								
		0,5 mim								
		1 mim								
		2 mim								
		4 mim								
		8 mim								
		15 mim								
		30 mim								
		1 h								
		2 h								
		4 h								
		8 h								
		24 h								

ABNT NBR 7181:2016: Solo - Análise granulométrica

APÊNDICE B- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO 1



Guilherme TCU
ensaio L

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

Escola Politécnica

Laboratório de Mecânica dos Solos

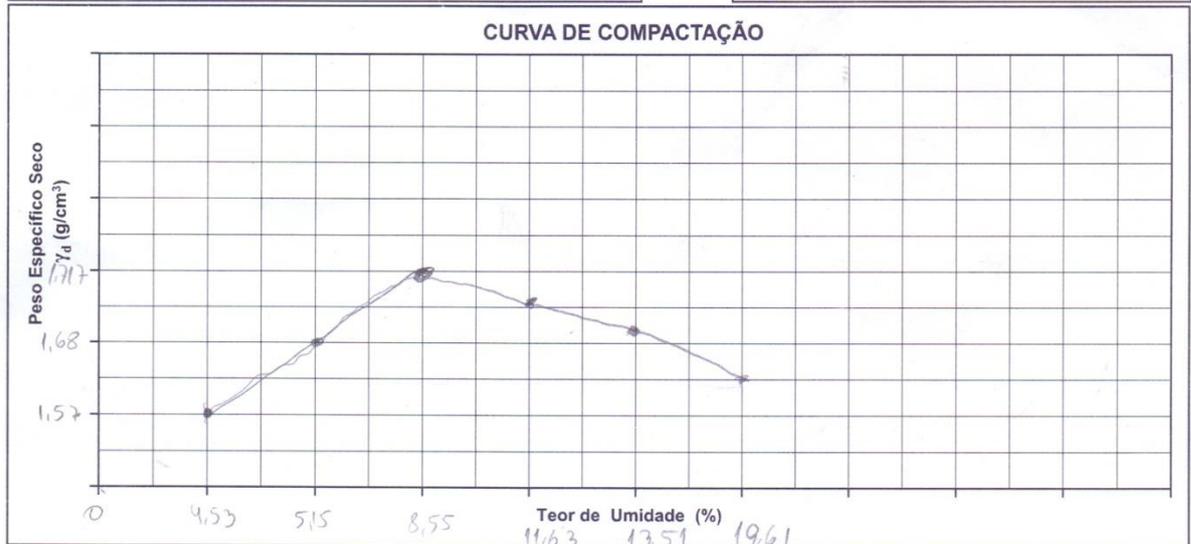
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - ABNT NBR 7182:2016

UMIDADE HIGROSCÓPICA		UMIDADE DE MOLDAGEM							
Método da Frigideira		1	2	3	4	5 4%	6 4%	7	8
1 - Cápsula nº		8,99	6,83	2,53	6,26	8,33	6,74		
2 - Cápsula + Solo Úmido		22,83	23,17	28,21	25,75	31,26	30,65		
3 - Cápsula + Solo Seco		22,23	22,37	26,66	23,72	28,53	26,73		
4 - Água		0,6	0,8	1,55	2,03	2,73	3,92		
5 - Peso da Cápsula		13,84	16,34	19,68	19,49	22,93	23,91		
6 - Solo Seco		13,24	15,54	18,13	17,46	20,2	19,99		
7 - Umidade		4,53	5,15	8,55	11,63	13,51	19,61		
Molde nº:		Peso do Molde: 4435 g			Volume do Molde: 998,15 cm³				
8 - Ponto nº		1	2	3	4	5	6	7	8
9 - Peso da Amostra e Molde		6080	6200	6295	6335	6355	6405		
10 - Peso do Molde		4435	4435	4435	4435	4435	4435		
11 - Peso da Amostra Compactada		1645	1765	1860	1900	1920	1970		
12 - Volume do Molde		998,15	998,15	998,15	998,15	998,15	998,15		
13 - Peso Específico Úmido (γ)		1,648	1,708	1,863	1,904	1,924	1,974		
14 - Peso Específico Seco (γ _d)		1,577	1,682	1,717	1,705	1,695	1,650		

O Peso Específico Úmido (γ) é calculado através da fórmula:

$$\gamma = \frac{\text{Peso da Amostra Compactada}}{\text{Volume do Molde}}$$

O Peso Específico Seco (γ_d) é calculado através da fórmula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{\omega}{100}}$$
**Resultados:**

Peso Específico Seco Máximo (γ_{d máx}): 1,717 g/cm³ Umidade Ótima (ω_{ótima}): 8,55 %

ABNT NBR 7182: 2016- Ensaio de compactação

Para calcular o **Peso Específico Seco (γ_d)** utilizar a **umidade (ω)** correspondente a **cada moldagem**.

Umidade = 4,85

APÊNDICE C- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO 2


Guilherme TCU
UNISINOS ensaio 2

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

Escola Politécnica

Laboratório de Mecânica dos Solos

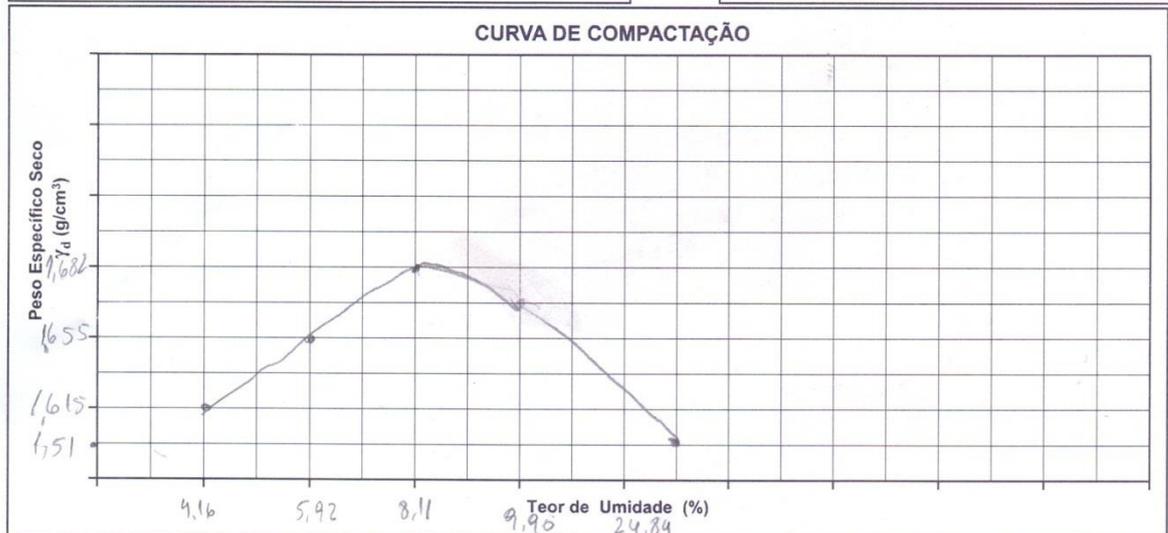
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - ABNT NBR 7182:2016

UMIDADE HIGROSCÓPICA	UMIDADE DE MOLDAGEM							
Método da Frigideira	1	2	3	4	5	6	7	8
1 - Cápsula n°	7,02	8,32	7,17	7,34	8,62			
2 - Cápsula + Solo Úmido	14,77	16,19	25,69	26,2	28,32			
3 - Cápsula + Solo Seco	14,46	15,75	24,3	24,5	24,4			
4 - Água	0,31	0,44	1,39	1,7	3,92			
5 - Peso da Cápsula	7,75	7,87	18,52	18,86	19,7			
6 - Solo Seco	7,44	7,43	12,13	12,16	15,78			
7 - Umidade	4,16	5,92	8,11	9,90	24,84			
Molde n°:	Peso do Molde: 4460 g		Volume do Molde: 998,35 cm³					
8 - Ponto n°	1	2	3	4	5	6	7	8
9 - Peso da Amostra e Molde	6140	6210	6275	6300	6350			
10 - Peso do Molde	4460	4460	4460	4460	4460			
11 - Peso da Amostra Compactada	1680	1750	1815	1840	1890			
12 - Volume do Molde	998,35	998,35	998,35	998,35	998,35			
13 - Peso Específico Úmido (γ)	1,683	1,753	1,818	1,843	1,893			
14 - Peso Específico Seco (γ_d)	1,615	1,655	1,682	1,677	1,516			

O Peso Específico Úmido (γ) é calculado através da fórmula:

$$\gamma = \frac{\text{Peso da Amostra Compactada}}{\text{Volume do Molde}}$$

O Peso Específico Seco (γ_d) é calculado através da fórmula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{\omega}{100}}$$
**Resultados:**

Peso Específico Seco Máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$): 1,682 g/cm³ Umidade Ótima ($\omega_{\text{ótima}}$): 8,11 %

ABNT NBR 7182: 2016- Ensaio de compactação

Para calcular o **Peso Específico Seco (γ_d)** utilizar a **umidade (ω)** correspondente a cada moldagem.

APEÊNDICE D- ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

Guilherme Teo



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
Escola Politécnica
Laboratório de Mecânica dos Solos
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA ABNT NBR 9895:2016

DADOS DO CILINDRO	
1 - Cilindro nº	12
2 - Peso do Cilindro g	16,320
3 - Volume do Cilindro cm³	2067,6
4 - Altura do Cilindro (h) mm	113,9

$$\gamma = \frac{\text{Peso da Amostra}}{\text{Volume do Cilindro}}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

MOLDAGEM	
5 - Peso da Amostra g	3205
6 - Peso da Amostra + Cilindro g	14425
7 - Peso Específico (γ) g/cm³	1,79
8 - Peso Específico Seco (γ _d) g/cm³	1,65

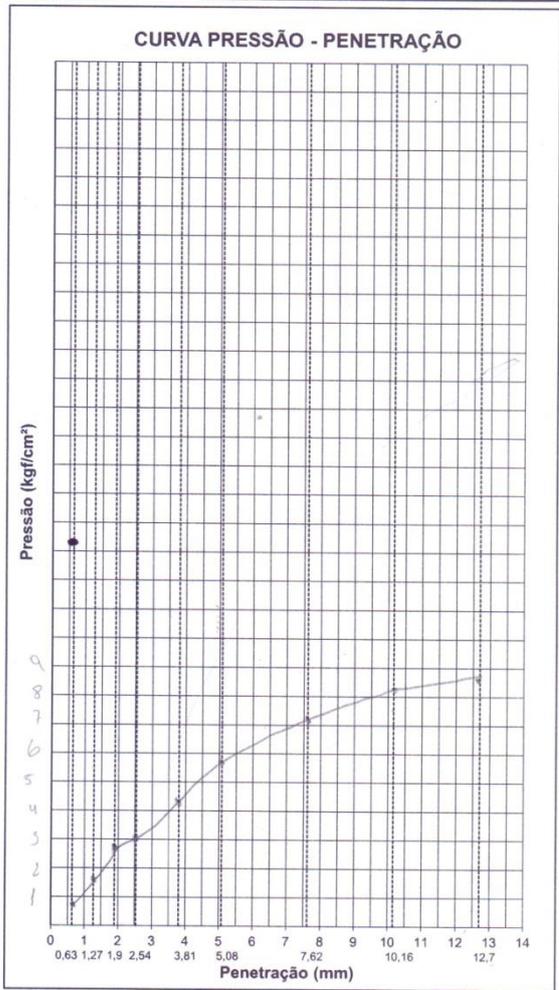
UMIDADE HIGROSCÓPICA - FRIGIDEIRA	
9 - Amostra Úmida + Frigideira g	
10 - Amostra Seca + Frigideira g	
11 - Peso da Água g	
12 - Peso da Frigideira g	
13 - Peso da Amostra Seca g	
14 - Umidade %	

UMIDADE DE MOLDAGEM - ESTUFA	
16 - Cápsula nº	2 3
17 - Solo Úmido + Cápsula g	25,77 22,51
18 - Solo Seco + Cápsula g	24,43 21,40
19 - Peso da Água g	0,054 0,052
20 - Peso da Cápsula g	8,31 7,18
21 - Peso do Solo Seco g	16,12 14,22
22 - Umidade %	8,31 7,20
23 - Umidade Média %	8,1

RESULTADO DA COMPACTAÇÃO (VER TABELA ENSAIO)	
Peso Específico Seco Máximo (γ _{d máx}) g/cm³	1,70
Umidade Ótima (ω _{ótima}) %	8,33

RESULTADOS DO ISC	
Expansão %	0,17%
ISC %	5,48
Peso Específico Seco g/cm³	1,70
GC = (γ _{d campo} / γ _{d laboratório}) x 100 %	

γ_{d campo} = peso específico seco → ensaio de ISC
γ_{d laboratório} = peso específico seco máximo → ensaio de compactação



Data	Hora	Leitura (mm)	Diferença Leitura (dl)	Expansão %
22/10	19:10	Li = 5,56	0,19	0,17%
23/10	19:12	5,56		
24/10	19:10	5,56		
25/10	19:10	5,56		
26/10	10:10	Lf = 5,75		

Diferença de Leitura = dl = Lf - Li
Expansão = (dl / h) x 100

Pressão Calculada = Leitura Defletômetro (LD) < 20 → 0,14545 x LD
Leitura Defletômetro (LD) ≥ 20 → 0,11368 x LD + 0,63545

Caso a curva apresente um ponto de inflexão → deve ser corrigida.

Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura Defletômetro	Pressão (kgf/cm²)		ISC %
			Calculada	Corrigida	
0	0	0	0	0	P2,54 70 × 100 4,16
0,5	0,63	6	0,873		
1	1,27	11	1,600		
1,5	1,90	15	2,182		
2	P2,54	20	2,909		P5,08 105 × 100 5,18
3	3,81	31	4,273		
4	P5,08	45	5,751		
6	7,62	60	7,456		
8	10,16	66	8,138		
10	12,70	69	8,479		

ABNT NBR 9895:2016: Solo - Índice de suporte califórnia - Método de ensaio

Para calcular o peso específico seco (γ_d) do ISC utilizar o teor de umidade médio (ω) determinado pelo método da estufa do ISC.