

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO DE JOINVILLE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

Luana Anderloni Braz

**SOLUÇÃO DE PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO PARA TERMINAL
UNIVERSITÁRIO DE ÔNIBUS EM JOINVILLE - SC**

Joinville

2016

Luana Anderloni Braz

**SOLUÇÃO DE PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO PARA TERMINAL
UNIVERSITÁRIO DE ÔNIBUS EM JOINVILLE – SC**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro de
Infraestrutura da Universidade Federal de
Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Breno Salgado Barra

Joinville

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Braz, Luana Anderloni

Solução de projeto de pavimentação para Terminal
Universitário de Ônibus em Joinville-SC / Luana Anderloni
Braz ; orientador, Breno Salgado Barra - Joinville, SC,
2016.

79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.
Graduação em Engenharia de Infraestrutura.

Inclui referências

1. Engenharia de Infraestrutura. 2. Terminal de Ônibus.
3. Pavimento rígido. 4. Pavimento intertravado. 5.
Dimensionamento. I. Barra, Breno Salgado. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de
Infraestrutura. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família. Principalmente à minha mãe, por todo o amor, carinho e dedicação durante todos esses anos, e também pelo apoio, paciência e compreensão nos momentos difíceis. Agradeço ao meu pai e à Lucimara por todo apoio e carinho.

Às minhas irmãs, Andressa, Julia e Alice, pela amizade, companheirismo e pelos momentos de descontração.

Aos meus tios, primos e avós, que são essenciais em minha vida, não medindo esforços para me ajudar, quando necessário.

Ao meu orientador, Breno, pela paciência, dedicação e confiança na elaboração deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina, por todo o conhecimento transmitido.

Aos colegas e amigos do IPPUJ, por todo o aprendizado e momentos de descontração. Em especial ao Paulo por não medir esforços em ajudar e contribuir na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos, aos que estão ao meu lado desde a época em que eu nem sonhava em fazer engenharia, e aos que conheci nos primeiros dias de aula da faculdade, obrigada por estarem ao meu lado durante todos esses anos. Aos que conheci ao longo da jornada, e até mesmo no final, muito obrigada, todos contribuíram de alguma forma nesta caminhada.

A todos os envolvidos nesta etapa da minha vida, muito obrigada.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é contribuir para a elaboração da solução do projeto de pavimentação do Terminal Universitário de ônibus, a ser implantado na região Norte de Joinville-SC. Para um bom desempenho técnico e funcional do terminal, é necessário que se faça um projeto de pavimentação adequado, que resulte no dimensionamento de uma estrutura capaz de suportar os esforços solicitantes do tráfego, tais como as cargas por eixo, manobras em trajetórias centrífugas, aceleração e frenagem, além de dispor de baixo custo de manutenção. O pavimento rígido e intertravado, quando tomados os devidos cuidados quanto ao estudo do terreno de fundação e dos materiais subjacentes especificados, são capazes de serem utilizados em áreas destinadas a carregamentos com baixa frequência de aplicação de carga, aliado a área de manobras constantes. Para tanto, o dimensionamento proposto das estruturas de pavimento compreende o uso das metodologias utilizadas no Brasil, a saber: Portland Cement Association (PCA) de 1984 para o pavimento rígido, e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para o pavimento intertravado, considerados para as zonas de plataforma e de manobras, respectivamente. Neste contexto, tem-se que os materiais constituintes da solução do pavimento foram especificados com base em estudos já desenvolvidos anteriormente, a partir de materiais provenientes de jazidas localizadas na Região Metropolitana de Joinville, atendo-se este trabalho, portanto, nos critérios de projeto propriamente dito do terminal mencionado. O estudo do tráfego, parâmetro fundamental no dimensionamento da estrutura, foi feito através de dados fornecidos pelas empresas responsáveis pelo transporte coletivo de Joinville. Para a solução em pavimento rígido foi realizado o projeto de juntas, com seu respectivo detalhamento e especificação, compreendendo as disposições transversais com barras de transferência de carga, longitudinais com barras de ligação e de encontro, devido ao tráfego e às dimensões do terminal.

Palavras-chave: Terminal de ônibus. Pavimento rígido. Pavimento intertravado. Dimensionamento.

ABSTRACT

The main objective of this study is to contribute to the development of the solution of the university bus terminal paving project, to be deployed in the northern region of Joinville-SC. For a good technical and functional performance of the terminal, it is necessary to make a proper paving project, resulting in the design of a structure able to support the requested forces of the traffic, such as axle loads, maneuvering centrifugal paths, acceleration and braking, and beside, have low maintenance costs. The rigid and interlocked pavement when taken due care as the study of the foundation ground and the underlying materials specified, have the desired characteristics for use in areas for low loads frequency, combined area of constant maneuvers. Therefore, the design proposed the pavement structures comprises the use of the methodologies used in Brazil, namely: Portland Cement Association (PCA) from 1984 for the rigid pavement, and the Brazilian Association of Portland Cement (ABCP) for the interlocked pavement considered for the platform area and maneuvers area, respectively. In this context, there is the constituent materials of the pavement solution were specified based on studies already developed earlier, with materials from deposits located in the Metropolitan Region of Joinville, this study, therefore, meets the design criteria itself of the terminal. The traffic study, key parameter in the design of the structure was obtained by data provided by the companies responsible for the public transport of Joinville. For the solution of rigid pavement was made out the project together with the respective detailing and specification, including cutting provisions with load transfer bars, longitudinal connection bars and against bars due to traffic and terminal dimensions.

Keywords: Bus terminal. Rigid pavement. Interlocked pavement. Pavement design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Etapas para o dimensionamento do pavimento.	4
Figura 2	- Estrutura tipo do pavimento intertravado.	8
Figura 3	- Principais tipos de arranjos de PPC para veículo e pedestre.	10
Figura 4	- Formatos de peças pré-moldadas de concreto.	11
Figura 5	- Deslocamentos das peças pré-moldadas de concreto.	12
Figura 6	- Espessura necessária de sub-base.	14
Figura 7	- Espessura necessária de base (concreto rolado ou solo-cimento).	15
Figura 8	- Estrutura tipo do pavimento rígido.	16
Figura 9	- Junta transversal de retração.	18
Figura 10	- Placas sob ação de tráfego pesado sem barras de transferência.	19
Figura 11	- Placas sob ação de tráfego pesado com barras de transferência.	20
Figura 12	- Junta transversal de retração com barras de transferência.	20
Figura 13	- Junta longitudinal de articulação	21
Figura 14	- Junta longitudinal de articulação com barras de ligação.	21
Figura 15	- Junta longitudinal de construção com barras de ligação.	22
Figura 16	- Junta de expansão: (a) com barra de transferência, (b) de encontro.	23
Figura 17	- Presença de sólidos em junta não selada.	24
Figura 18	- Localização do Terminal Universitário.	28
Figura 19	- Processo de escavação e coleta do solo do subleito.	29
Figura 20	- Estrutura de pavimento existente.	30
Figura 21	- Variação do CBR e expansão em relação à porcentagem de ADF.	32
Figura 22	- Curva granulométrica do saibro com faixa granulométrica A do DNIT.	35
Figura 23	- Curva granulométrica BGS.	38
Figura 24	- Planta baixa do Terminal Universitário.	43
Figura 25	- Ônibus da frota do transporte público de Joinville/SC.	46
Figura 26	- PAVI-S em arranjo espinha-de-peixe.	49
Figura 27	- Estrutura final do pavimento intertravado.	51

Figura 28	- Perfil de pavimentação do Terminal Universitário.	54
Figura 29	- Análise de Fadiga - Número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga, para uma espessura da placa de concreto de 16 cm.	57
Figura 30	- Análise de Erosão - Número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto), para uma espessura da placa de concreto de 16 cm.	58
Figura 31	- Estrutura final do pavimento rígido.	59
Figura 32	- Detalhe da junta transversal com barras de transferência.	61
Figura 33	- Dimensões do pavimento rígido	62
Figura 34	- Detalhe da junta longitudinal com barras de ligação.	64
Figura 35	- Planta do Pavimento rígido.	65
Figura 36	- Detalhe em planta das juntas do pavimento rígido, na área A1 (a) e A2	66
Figura 37	- Detalhe do reservatório do selante nas juntas transversais.	68
Figura 38	- Detalhe do reservatório do selante nas juntas longitudinais.	69
Figura 39	- Detalhe da junta de encontro.	69
Figura 40	- Junta esborcinada.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Espessura e resistência das peças pré-moldadas de concreto.	16
Tabela 2	- Espaçamento recomendado entre juntas transversais.	19
Tabela 3	- Informações Saibro Arenoso.	36
Tabela 4	- Faixas Granulométricas.	37
Tabela 5	- Porcentual passante de ARM comparando com a faixa granulométrica recomendada.	39
Tabela 6	- Resultados de resistência à compressão da amostra de peças.	40
Tabela 7	- Resultados dos ensaios de ruptura dos corpos de prova aos 28 dias.	42
Tabela 8	- Resultado V_p , V_m e V_t .	45
Tabela 9	- Fator de Equivalência de Carga do USACE.	46
Tabela 10	- Resultado do fator de carga (FC).	47
Tabela 11	- Classificação das vias e parâmetros de tráfego.	48
Tabela 12	- Aumento de k devido à presença de sub-base granular.	53
Tabela 13	- Fatores de segurança para as cargas.	53
Tabela 14	- Dimensionamento do revestimento do pavimento de concreto.	55
Tabela 15	- Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência (Barras lisas - Aço CA-25).	60
Tabela 16	- Fatores de forma recomendados para selantes vasados no local.	68

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AASHTO	-	American Association of State Highway and Transportation
ABCP	-	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADF	-	Areia Descartada de Fundação
ARM	-	Areia reciclada mista
BGS	-	Brita Graduada Simples
CBR	-	California Bearing Ratio
CCR	-	Concreto Compactado a Rolo
Celesc	-	Centrais Elétricas de Santa Catarina
DER/PR	-	Departamento de Estradas de Rodagem do estado do Paraná
DER/SP	-	Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo
DNER	-	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	-	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FC	-	Fator de Carga
FE	-	Fator de Eixo
FE	-	Fator de Erosão
FF	-	Fator de Fadiga
FR	-	Fator Climático Regional
FSC	-	Fator de Segurança para as Cargas
FV	-	Fator de Veículos
ICPI	-	Interlocking Concrete Pavement Institute
IDm	-	Índice de Desgaste após Compactação Marshall sem Ligante
IPPUJ	-	Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville
ISC	-	Índice de Suporte Califórnia
LL	-	Limite de Liquidez
LP	-	Limite de Plasticidade
NBR	-	Norma Brasileira
NP	-	Não Plástico
PAC	-	Programa de Aceleração do Crescimento

PCA	-	Portland Cement Association
PPC	-	Peças Pré-moldadas de Concreto
SC	-	Santa Catarina
SEINFRA	-	Secretaria de Infraestrutura Urbana
SENAI	-	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TE	-	Tensão Equivalente
UDESC	-	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFSC	-	Universidade Federal de Santa Catarina
UNIVILLE	-	Universidade da Região de Joinville
USACE	-	United States Army Corps of Engineers

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	OBJETIVOS	2
1.1.1.	Objetivo Geral	2
1.1.2.	Objetivos Específicos	2
1.2.	PROCEDIMENTOS PARA ALCANÇAR OS OBJETIVOS	3
1.3.	DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO DA PESQUISA	4
1.4.	JUSTIFICATIVA	5
1.5.	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	6
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1.	CONCEITOS PAVIMENTAÇÃO	7
2.2.	PAVIMENTO INTERTRAVADO	7
2.2.1.	Peças pré-moldadas de concreto	9
2.2.1.1.	Arranjo	9
2.2.1.2.	Formato	10
2.2.1.3.	Espessura	11
2.2.2.	Intertravamento	12
2.2.2.1.	Intertravamento Vertical	12
2.2.2.2.	Intertravamento Horizontal	13
2.2.2.3.	Intertravamento Rotacional ou Giratório	13
2.3.	MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO	13
2.4.	PAVIMENTO RÍGIDO	16
2.5.	PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO SIMPLES DE CIMENTO PORTLAND	17
2.5.1.	Juntas	17
2.5.1.1.	Juntas transversais	18

2.5.1.2.	Juntas Longitudinais.....	20
2.5.1.3.	Juntas especiais.....	22
2.5.1.4.	Selante das juntas.....	23
2.6.	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO.....	24
2.6.1.	Método da PCA – 1966	25
2.6.2.	Método da PCA – 1984	25
3.	ESTUDOS GEOTÉCNICOS	27
3.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	27
3.2.	ESTUDO DO SUBLEITO.....	28
3.2.1.	Areia de fundição	31
3.2.2.	CBR e Expansão	31
3.3.	ESTUDO DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO.....	34
3.3.1.	Saibro arenoso (Sub-base)	34
3.3.2.	Brita graduada simples (Base)	36
3.3.3.	Areia (Camada de assentamento)	38
3.3.4.	Peças pré-moldadas de concreto (Revestimento)	39
3.3.5.	Concreto (Revestimento)	40
4.	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	43
4.1.	ESTUDO DO TRÁFEGO.....	44
4.2.	DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	48
4.2.1.	Revestimento	48
4.2.2.	Camada de Assentamento	49
4.2.3.	Reforço do subleito, Sub-base e Base	50
4.3.	DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO RÍGIDO.....	51
4.3.1.	Reforço do subleito	51
4.3.2.	Sub-base	52
4.3.3.	Revestimento	52

4.4.	DIMENSIONAMENTO DAS JUNTAS.....	59
4.4.1.	Juntas transversais	60
4.4.2.	Juntas longitudinais	61
4.4.3.	Juntas de encontro	65
4.4.4.	Selante das juntas	67
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	72
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO A - TABELAS	78

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ, 2014), a cidade de Joinville está localizada no norte do estado de Santa Catarina e é a maior cidade do estado, comportando uma população de 562.151 habitantes, valor estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

Neste contexto, tem-se que cerca de 22% da população joinvilense se desloca por meio do ônibus municipal, conforme pesquisa de Origem/Destino realizada pelo Instituto de Pesquisa Catarinense LTDA (JOINVILLE, 2010). São cerca de 3,6 milhões de passageiros utilizando o serviço mensalmente (GIDION, 2014).

No âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC-2), Joinville foi uma das cidades contempladas em 2013 com recursos destinados a obras de infraestrutura na cidade. O IPPUJ, fundação pública do Município de Joinville, tem desenvolvido projetos que preveem a implantação de novos corredores exclusivos para ônibus, novos abrigos para passageiros de ônibus e um novo terminal de ônibus na região Norte da cidade, com os recursos do PAC-2 (JOINVILLE, 2013).

Assim, a proposta deste trabalho é colaborar com o desenvolvimento de uma solução de projeto de pavimentação do novo terminal, denominado Terminal Universitário, a partir do dimensionamento de estruturas de pavimento rígido e intertravado, capazes de garantir conforto, segurança e economia dos custos de operação aos usuários.

A escolha da solução de pavimentação rígida levou em consideração as características intrínsecas do tráfego que circulará no referido terminal, compreendendo a aplicação de esforços solicitantes estáticos e quase-estáticos nas plataformas de embarque e desembarque. No caso da solução intertravada, verificam-se as manobras geradoras de esforços tangenciais nas alças do terminal, que necessitam de rápida transmissão entre os elementos estruturais, a fim de evitar a concentração de tensões localizadas capazes de provocar movimentações horizontais, verticais e rotacionais, que prejudicam a estanqueidade do pavimento.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é elaborar um projeto de pavimentação utilizando pavimento rígido de concreto de cimento Portland, em conjunto com pavimento intertravado com peças pré-moldadas de concreto, para um estudo de caso aplicado ao Terminal Universitário, que será construído na zona Norte de Joinville, em Santa Catarina.

1.1.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos traçados são:

- Reconhecimento do local em que o terminal será instalado, verificando suas características, e as condições do pavimento existente;
- Obter informações com os órgãos responsáveis sobre o estudo das linhas urbanas que utilizarão o Terminal e sua frequência, com o objetivo de determinar o número de repetições do eixo-padrão (N), assim como obter a taxa de crescimento aritmético;
- Especificação dos materiais constituintes das estruturas de pavimento, com base em estudos executados com materiais da região de implantação do terminal;
- Dimensionar a estrutura do pavimento utilizando como solução o pavimento rígido e o pavimento intertravado, a partir das metodologias da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984, constante do manual de pavimento rígido do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005) e da metodologia da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), presente no Estudo Técnico nº 27 de Carvalho (1998), respectivamente;
- Detalhar as estruturas de pavimento no ambiente destinado à construção do Terminal Universitário.

1.2. PROCEDIMENTOS PARA ALCANÇAR OS OBJETIVOS

Para elaborar um projeto de pavimentação é necessário realizar estudos geotécnicos e com isso dimensionar o pavimento, sendo que os estudos geotécnicos são divididos em estudo do subleito e estudo de ocorrências de materiais para a pavimentação (DNIT, 2006a).

Na elaboração do projeto de pavimentação do Terminal Universitário foi realizado, inicialmente, um reconhecimento do local em que a estrutura será construída e possíveis pontos de abertura de poço de sondagem, visando a menor interferência possível. A abertura do poço de sondagem faz parte do estudo do subleito, e tem por objetivo coletar material deste substrato para caracterização e reconhecimento das características do material existente.

Para a abertura do poço foram consultados alguns órgãos e empresas de Joinville, como a Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ), Secretaria de Infraestrutura Urbana (SEINFRA), Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc), Companhia Águas de Joinville e SC Gás, sobre a existência de tubulações ou fiações no ponto determinado, com isso foi possível realizar a escavação, coleta do material e uma análise tátil-visual *in situ* do solo do subleito.

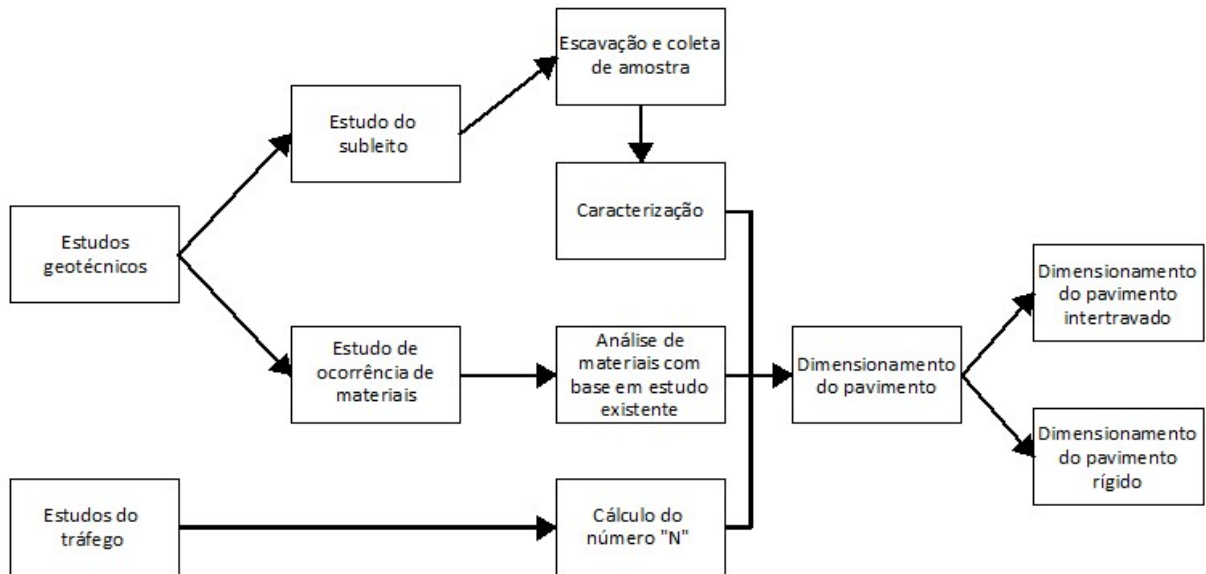
Para o estudo de ocorrências de materiais para a pavimentação, por falta de tempo hábil para executar os ensaios, foram analisados estudos existentes de materiais de Joinville-SC, sendo considerados para o emprego na construção da estrutura do pavimento (camadas de reforço, sub-base, base e revestimento).

Depois de realizado os estudos do subleito e estudo de ocorrências de materiais para a pavimentação é possível realizar o dimensionamento da estrutura. Para isso, foram consultadas as empresas responsáveis pelo transporte público de Joinville (Gidion e Transtusa), sobre o dimensionamento das linhas e número de viagens que o Terminal Universitário irá receber, em que a partir destas informações foi possível realizar o estudo do tráfego e calcular o número de operações do eixo padrão (N).

O dimensionamento da estrutura foi realizado com base nas metodologias correntemente utilizadas no Brasil, da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984 para o pavimento rígido, constante do manual de pavimento rígido do Departamento

Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005) e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), presente no Estudo Técnico nº 27 de Carvalho (1998), para o pavimento intertravado. A Figura 1 apresenta a sequência de etapas para atingir o objetivo geral do trabalho.

Figura 1 – Etapas para o dimensionamento do pavimento.



Fonte: Autora (2016).

1.3. DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento do trabalho foi firmado um convênio com o IPPUJ, que elaborou o projeto do Terminal Universitário projetado entre a Avenida Edgar Nelson Meister e a Rua Alvin Wodtke, no encontro dos bairros Bom Retiro, Santo Antônio, Jardim Sofia e Zona Industrial Norte. O convênio prevê o fornecimento de dados, parâmetros e informações pertinentes sobre o projeto em questão. Além disso, o IPPUJ ajudou na escolha do local adequado para realização do poço de sondagem.

Para os estudos geotécnicos, foram analisados os estudos existentes sobre materiais de pavimentação conduzidos por Machado (2015), Almeida (2015) e Santos (2015), realizados na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os materiais são provenientes de jazidas e empresas de Joinville-SC.

Desta forma, tem-se que o trabalho se ateve aos critérios de solução de projeto, não se ocupando das análises laboratoriais dos materiais especificados.

1.4. JUSTIFICATIVA

Segundo o IPPUJ (2016), com o desempenho da economia industrial, bem como as ampliações dos setores universitários e tecnológicos (com UNIVILLE, UDESC e SENAI), aliado à saturação da demanda na Estação Norte, se faz necessária a criação de mais um terminal de passageiros na região norte de Joinville.

Para um bom desempenho do terminal, é necessária uma atenção com o projeto de pavimentação, garantindo características de conforto, segurança e economia aos usuários. A questão da economia está relacionada, também, com o tipo de pavimento a ser adotado, que não envolve apenas o custo de construção, outras parcelas estão envolvidas, como o custo com manutenção, reabilitação, reconstrução, operação, custos operacionais dos veículos, custos ambientais, sociais, entre outros (SUZUKI *et al.*, 2012).

Ao escolher o tipo de pavimento a adotar, devem ser levados em conta alguns aspectos, como orçamentos futuros com manutenção e recuperações do pavimento. Suzuki *et al.* (2012) afirmam que a falta de recursos e a precariedade de operações para sua plena conservação, exigem a adoção de um pavimento com alta durabilidade e baixos custos com manutenção.

Ainda segundo os autores, os pavimentos das plataformas dos terminais estão sujeitos à aplicação de esforços parecidos com os observados nos corredores de ônibus, isto é, de aceleração e frenagem, aliados às solicitações quase-estáticas e estáticas. A utilização do pavimento rígido em corredores de ônibus está se tornando uma prática cada vez mais utilizada no Brasil, e a justificativa da adoção desta solução para os corredores é a verificação em ambientes urbanos quanto à durabilidade e baixa manutenção do pavimento rígido, resultando em economia de recursos financeiros com a manutenção.

Porém, para as áreas de manobra o pavimento intertravado se apresenta como uma solução mais adequada. Devido às manobras dos ônibus, ocorre o problema de cisalhamento das barras de transferência no pavimento rígido, podendo

causar a geração de degraus nas interfaces das juntas e ruptura das placas de concreto.

Quanto ao pavimento intertravado, tem-se que este apresenta características atrativas, como a facilidade com a manutenção, resultando em redução de custos e rapidez nas intervenções, propiciando rápida distribuição das cargas entre as peças pré-moldadas de concreto, e quando bem executado, sobretudo a partir de um bom estudo e preparo das camadas subjacentes, não demonstra problemas com degraus, proporcionando conforto na trafegabilidade.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Capítulo 1 - Introdução ao tema abordado no trabalho, apresentando os objetivos e justificativa.

Capítulo 2 - Aborda a fundamentação teórica julgada necessária para elaboração do trabalho, relatando conceitos da pavimentação intertravada e rígida.

Capítulo 3 - Discorre sobre as características dos materiais empregados para elaboração da estrutura final de pavimentação.

Capítulo 4 - Trata do dimensionamento da estrutura de pavimento aplicando as metodologias utilizadas no Brasil, da determinação do número de repetições do eixo-padrão de projeto (N), do detalhamento da estrutura final e, do projeto de juntas do pavimento rígido.

Capítulo 5 - Apresentação das conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentados conceitos de pavimentação intertravada e rígida, que serão utilizados como solução de pavimentação deste trabalho, assim como seus métodos de dimensionamento.

2.1. CONCEITOS PAVIMENTAÇÃO

Pavimento, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006a), é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, a qual é nomeada de subleito. O pavimento é designado a resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego e distribuí-los, resistir aos esforços horizontais de desgaste, e melhorar o conforto e segurança de rolamento para o usuário (SENÇO, 2007).

Os pavimentos são classificados segundo a rigidez do conjunto: flexíveis, semirrígidos e rígidos. Em geral, o pavimento rígido é associado ao concreto de cimento Portland, e o pavimento flexível aos pavimentos asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.2. PAVIMENTO INTERTRAVADO

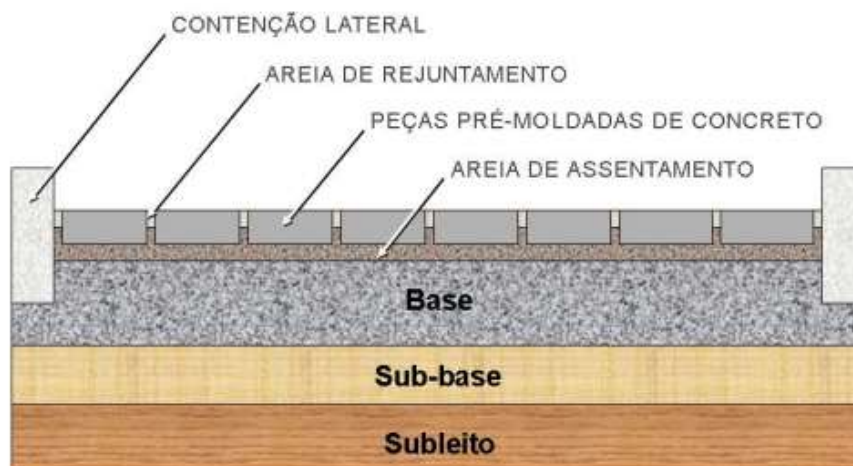
Segundo a Prefeitura de São Paulo (2004) o pavimento intertravado é um modelo estrutural de pavimento flexível, e representa uma versão moderna dos antigos calçamentos, executados com blocos de paralelepípedo.

O pavimento intertravado, conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010), é constituído por peças pré-moldadas de concreto (PPC), assentadas sobre colchão de areia, e travadas entre si através de contenção lateral. É possível empregar o pavimento intertravado em vias urbanas, pátios de estacionamento e manobra, vias internas de fábricas, colégios e hospitais, e de acordo com Carvalho (1998), a sua utilização tem diversas vantagens, como:

- Baixo custo de manutenção, pois cerca de 95% das peças podem ser reaproveitadas;
- Liberação do pavimento para tráfego imediatamente após a construção;
- Não é necessária a utilização de pessoal especializado para execução;
- Proporciona boa superfície de rolamento para velocidades de até 80km/h;
- Baixo custo, devido a fabricação industrializada das peças.

A estrutura tipo de um pavimento intertravado pode ser observada na Figura 2, sendo esta composta por revestimento, camada de assentamento, base, sub-base e subleito.

Figura 2 – Estrutura tipo do pavimento intertravado.



Fonte: Hallack (1998) *apud* Godinho (2009, p. 35).

A principal função da base é resistir as tensões recebidas da camada de revestimento e distribuí-las às camadas subjacentes, evitando as deformações permanentes e a deterioração do pavimento (CRUZ, 2003). Em alguns casos, o dimensionamento requer uma camada de reforço do subleito, executada entre a sub-base e o subleito.

A camada de assentamento, também chamada de colchão de assentamento, é composta por material granular, com a função de assentar as peças pré-moldadas de concreto. Deve proporcionar uma superfície regular, com uma camada entre 3 e 4 cm após compactação, para acomodar as peças (ABCP,

2002a). De acordo com a ABCP (2010), se apresentar uma camada muito profunda, poderá ocorrer o afundamento, e se for insuficiente, haverá quebra das PPC.

Apesar da areia de assentamento ser uma camada fina, correspondendo a menos de 10% da espessura final do pavimento, sua função estrutural é tão importante quanto as outras camadas, pois o desempenho final do pavimento depende diretamente da sua execução e da especificação no projeto da areia a ser utilizada (CRUZ, 2003).

Para a selagem das peças pré-moldadas de concreto, uma camada de areia fina é espalhada sobre o pavimento, de maneira que penetre nas juntas, preenchendo os vazios e garantindo o intertravamento das peças. A areia de rejuntamento proporciona a transferência de esforços entre as PPC, permitindo que as peças trabalhem como um todo (ABCP, 2010).

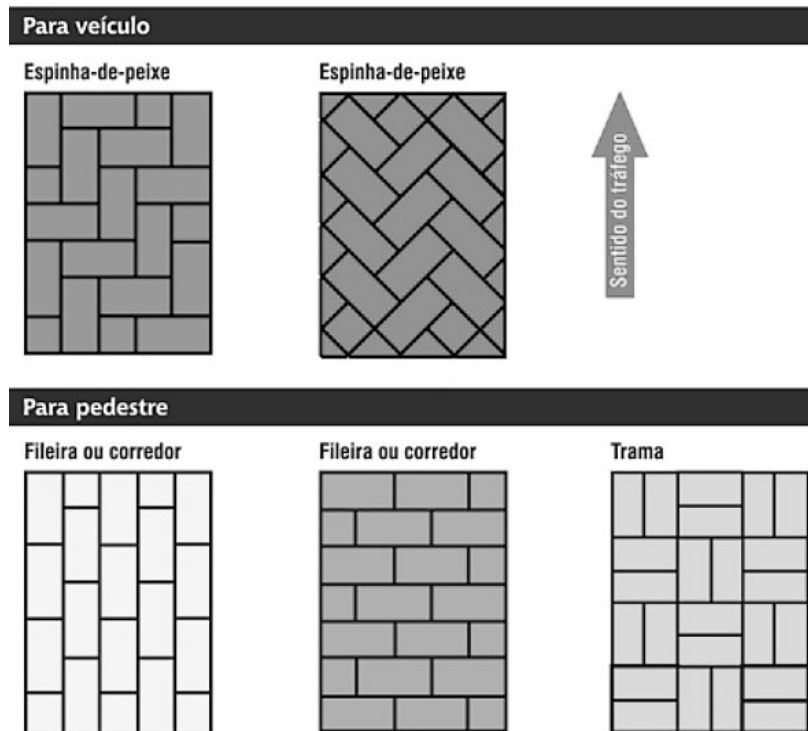
2.2.1. Peças pré-moldadas de concreto (PPC)

As peças pré-moldadas de concreto constituem a camada de revestimento, responsável por suportar as cargas e tensões provocadas pelo tráfego, protegendo a camada subjacente, a base, do desgaste por abrasão. As PPC estabelecem as condições de rolamento, durabilidade do pavimento e contribuem para a distribuição de tensões oriundas do tráfego através do intertravamento, sendo que esta distribuição depende essencialmente do arranjo, formato e espessura das PPC (MULLER, 2005).

2.2.1.1. Arranjo

O tipo de arranjo de assentamento interfere na aparência e no desempenho do pavimento. Os arranjos podem ser divididos em espinha-de-peixe, fileiras ou trama. Para condições de tráfego intenso, o arranjo espinha-de-peixe é considerado o mais adequado, demonstrando um melhor desempenho em relação a deformações permanentes (ABCP, 2002a). A Figura 3 apresenta os tipos de arranjos, no qual a ABCP (2002a) divide em arranjos para veículos e arranjos para pedestres.

Figura 3 – Principais tipos de arranjos de PPC para veículo e pedestre.



Fonte: ABCP (2002a, p. 83).

2.2.1.2. Formato

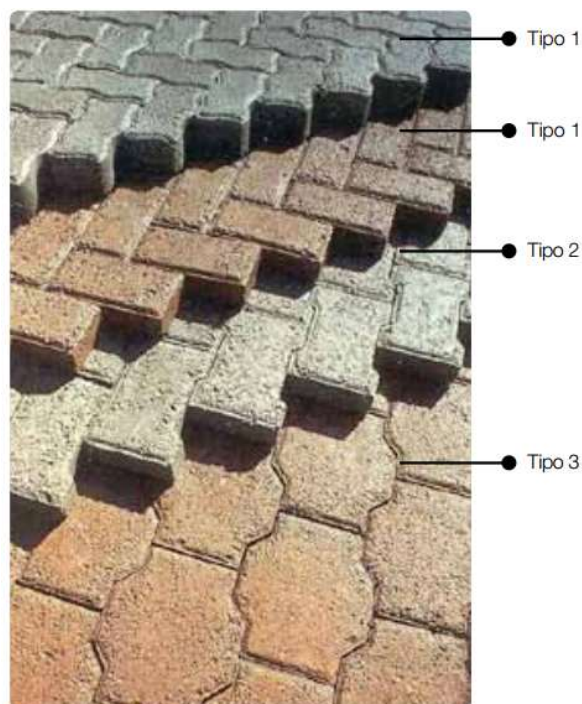
Os formatos dos blocos são projetados afim de permitir elevada transferência de carga entre eles, através do contato entre as faces (MACIEL, 2007). De acordo com a ABCP (2010) e Hallack (1998) *apud* Godinho (2009), existem três tipos básicos de formato dos blocos:

- Tipo 1: São blocos de formas retangulares, com as faces laterais retas, curvilíneas ou poliédricas. As dimensões são, geralmente, 20 cm de comprimento por 10 cm de largura. Apresenta facilidade de produção e execução, além da capacidade de assentamento em fileiras ou em espinha-de-peixe.
- Tipo 2: Em geral, apresenta um formato em “I”, possibilitando apenas o assentamento em fileiras travadas. Suas dimensões são, usualmente, 20 cm de comprimento por 10 cm de largura.
- Tipo 3: São peças de concreto com dimensões maiores que os outros tipos, pelo menos 20 por 20 cm, não sendo possível carregar com apenas uma

mão, devido ao seu peso e tamanho. Possui formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.), assentes seguindo um mesmo padrão, que nem sempre são fileiras identificadas facilmente.

Na Figura 4 é possível notar as diferenças entre os formatos das peças de concreto.

Figura 4 – Formatos de peças pré-moldadas de concreto.



Fonte: ABCP (2010, p. 11).

Alguns estudos têm demonstrado que as PPC de lados segmentados possuem um melhor comportamento do que as com lados retos ou suavemente curvados, em razão de as peças segmentadas apresentarem menores deformações permanentes na trilha de roda e menores deformações horizontais (SHACKEL, 1990 *apud* MÜLLER, 2005).

2.2.1.3. Espessura

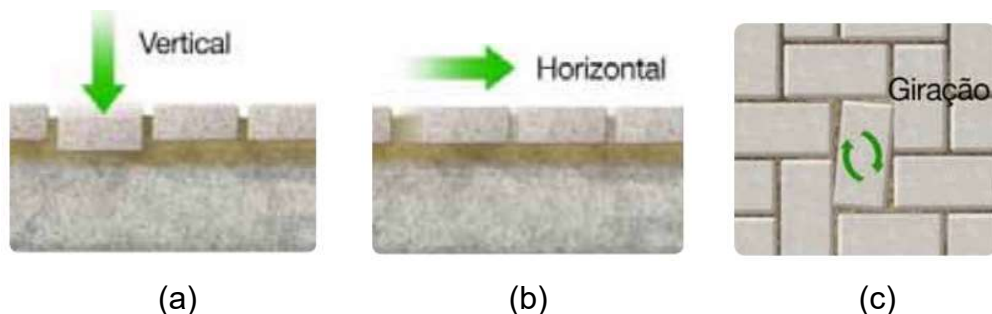
A espessura das peças de concreto varia, geralmente, entre 6 cm e 10 cm, em função do tráfego solicitante. Para casos de tráfego leve, com número de

solicitações (N) menor ou igual a 5×10^5 , pode-se utilizar peças com 6 cm de espessura, para locais sujeitos a tráfego de veículos comerciais, recomenda-se a espessura mínima de 8 cm. Já para áreas com tráfego de veículos especiais, como áreas portuárias ou industriais, ou vias urbanas e comerciais com tráfego pesado, com o número de solicitações (N) maior ou igual a 1×10^7 , recomenda-se uma espessura de 10 cm (CARVALHO, 1998).

2.2.2. Intertravamento

Segundo a ABCP (2010), o intertravamento é essencial para um bom desempenho e durabilidade do pavimento, e consiste na capacidade de as peças pré-moldadas de concreto resistirem a movimentos de deslocamento, sendo eles vertical, horizontal ou de rotação em relação aos blocos ao lado, ver Figura 5. Para alcançar o intertravamento das peças é necessária uma contenção lateral, normalmente empregado o meio-fio, e o preenchimento das juntas com areia.

Figura 5 – Deslocamentos das peças pré-moldadas de concreto.



Fonte: ABCP (2010, p. 10).

2.2.2.1. Intertravamento Vertical

A ABCP (2010) afirma que quando uma peça pré-moldada de concreto recebe uma carga exatamente no seu centro, a tendência é ela sofrer um deslocamento vertical e, conseqüentemente, afundar, como observado na Figura 5 (a).

Para o intertravamento vertical pode-se utilizar peças com formatos especiais e encaixe do tipo macho-fêmea, que possibilitam a distribuição dos esforços para as peças vizinhas, porém, devido a sua geometria complexa, há maior

dificuldade em executar tal técnica. Logo, independente do formato das peças, o intertravamento vertical é alcançado através dos esforços de cisalhamento absorvidos pela areia de rejuntamento entre as peças e com a estabilidade estrutural da camada de assentamento, compactada e confinada (CRUZ, 2003).

2.2.2.2. Intertravamento Horizontal

Quando a peça sofre esforço horizontal, como a freada de um veículo, as peças de concreto tendem a se deslocar lateralmente, ver Figura 5 (b) (ABCP, 2010). Para evitar este deslocamento é necessário o intertravamento horizontal, que está relacionado ao formato e arranjo das PPC. As juntas são as principais responsáveis por este intertravamento, desde que sejam executadas corretamente e com o material adequado (CRUZ, 2003).

2.2.2.3. Intertravamento Rotacional ou Giratório

O intertravamento rotacional é importante para que a peça não gire em relação ao seu próprio eixo, mostrado na Figura 5 (c). É impedido pela espessura das juntas e, conseqüentemente, pelo confinamento oferecido pelas peças adjacentes. Este fenômeno ocorre principalmente nas áreas de frenagem, aceleração, curvas e em regiões com confinamento lateral duvidoso (CRUZ, 2003).

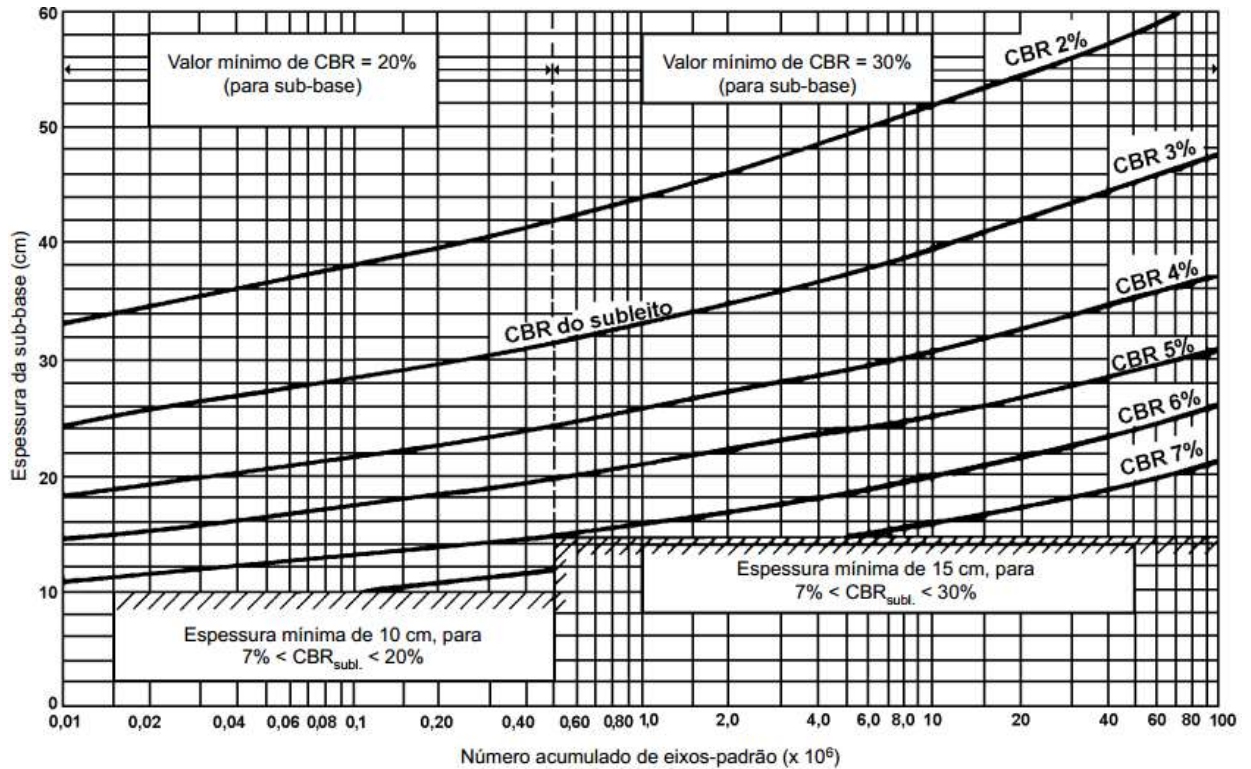
2.3. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO

Para dimensionamento do pavimento intertravado existe o método da ABCP, presente no Estudo Técnico nº 27 de Carvalho (1998) e, segundo o autor, o método é uma adaptação daquele concebido por A. A. Lilley e B. J. Walker, e aplica-se a áreas submetidas a tráfego de veículos comerciais, onde os parâmetros de dimensionamento são o tráfego imposto no local e a capacidade de suporte do subleito.

Para determinar as espessuras necessárias do pavimento são utilizados ábacos. O ábaco da Figura 6 é utilizado para determinar a espessura da camada de

sub-base, em que o valor é obtido em função do valor de *California Bearing Ratio* (CBR) do subleito e do número de solicitações do eixo padrão, número N.

Figura 6 – Espessura necessária de sub-base.



Fonte: Carvalho (1998, p. 22).

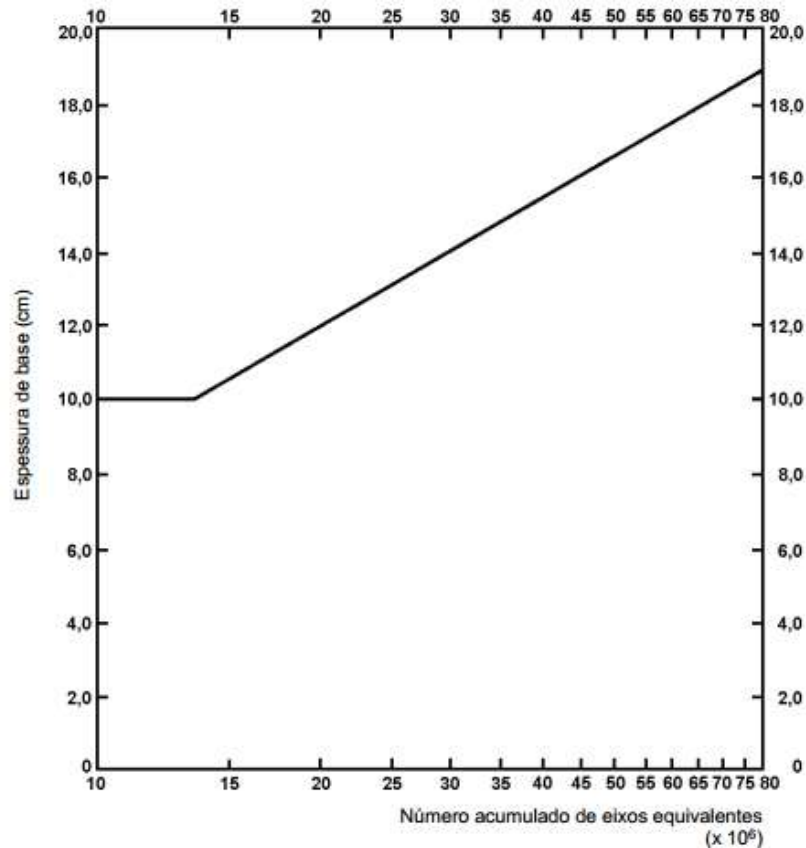
Pelo ábaco da Figura 6, pode-se notar que:

- Quando $N < 0,5 \times 10^6$, o material da sub-base deve possuir um valor de CBR mínimo de 20%;
- Quando $N \geq 0,5 \times 10^6$, o material da sub-base deve possuir um valor de CBR mínimo de 30%;
- Quando $N < 0,5 \times 10^6$ e o material do subleito possuir um valor de CBR igual ou superior a 20%, não é necessária camada de sub-base;
- Quando $N \geq 0,5 \times 10^6$ e o material do subleito possuir um valor de CBR igual ou superior a 30%, não é necessária camada de sub-base.

Para a camada de base é utilizado o ábaco da Figura 7, que a espessura é determinada em função do número (N) de solicitações. Este ábaco, porém, foi

concebido para base de concreto rolado ou solo-cimento. Segundo Carvalho (1998), é recomendado uma espessura mínima de 10 cm quando o número (N) for entre $1,5 \times 10^6$ e 10^7 , e quando o número (N) for inferior a $1,5 \times 10^6$, não é necessário camada de base cimentada.

Figura 7 – Espessura necessária de base (concreto rolado ou solo-cimento).



Fonte: Carvalho (1998, p. 23).

Quando optado pela utilização de base granular, o dimensionamento será igual ao da base dos pavimentos de concretos asfálticos, presente no Manual de Pavimentação do DNIT (2006a), limitada a uma espessura mínima de 15 cm.

A espessura e resistência do revestimento são determinados em função do tráfego, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Espessura e resistência das peças pré-moldadas de concreto.

TRÁFEGO	ESPESSURA DO REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5 \times 10^5$	6 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8 cm	35 a 20 MPa
$N \geq 10^7$	10 cm	50 MPa

Fonte: São Paulo (2004).

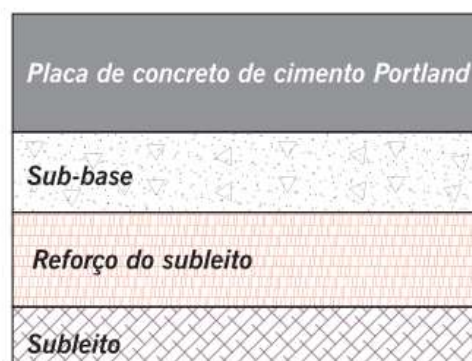
2.4. PAVIMENTO RÍGIDO

No pavimento rígido o revestimento possui uma elevada rigidez em relação às camadas subjacentes, absorvendo praticamente todas as tensões provenientes do carregamento deste modo, aliviando as tensões transmitidas às camadas inferiores (DNIT, 2006a).

O revestimento de um pavimento tem a função de resistir ao desgaste, porém, no pavimento rígido a placa de concreto exerce as funções do revestimento e da base, pois sua elevada rigidez distribui as cargas do tráfego por áreas maiores que o pavimento flexível (SENÇO, 2007).

Sendo assim, os pavimentos rígidos são compostos por uma camada de concreto de cimento Portland, apoiadas sobre a sub-base, geralmente essa composta de material granular ou material estabilizado por cimento, e assente sobre o subleito ou, quando necessário, assente sobre o reforço do subleito (BERNUCCI *et al.*, 2008). A Figura 8 apresenta uma estrutura-tipo do pavimento rígido.

Figura 8 - Estrutura tipo do pavimento rígido.



Fonte: Bernucci *et al.* (2008, p. 337).

Segundo a ABCP (2002b), o cimento Portland é composto por clínquer e adições, sendo o clínquer o principal componente. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro, e é um dos principais fatores que define os diferentes tipos de cimento.

Para a execução do pavimento de concreto não se faz exigências especiais quanto ao tipo de cimento e propriedades físicas e químicas, porém, os cimentos com maior eficiência, ou seja, com maior resistência para menor consumo, têm-se demonstrado mais apropriados (DNIT, 2005).

Existem diferentes tipos de pavimentos rígidos utilizados em nosso país, que são classificados em função dos materiais empregados e da concepção estrutural (DNIT, 2005). Destes destaca-se o de concreto simples de cimento Portland, que será tratado neste trabalho.

2.5. PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO SIMPLES DE CIMENTO PORTLAND

Segundo Costa *et al.* (2014), o pavimento de concreto simples é composto por placas de concreto moldadas *in loco*, e devido à ausência de armadura, o concreto deve resistir aos esforços de compressão e de tração na flexão. As placas são separadas por juntas, que podem ser moldadas ou serradas (Oliveira, 2000).

2.5.1. Juntas

Uma das características do pavimento em concreto é a variação volumétrica das placas, provenientes da variação de temperatura e de umidade ou reação do cimento (SENÇO, 2007). Essas variações juntamente com a combinação dos efeitos do empenamento restringido das placas e das solicitações do tráfego, podem causar fissuras, que devem ser controladas pois interferem diretamente na durabilidade do pavimento (PITTA, 1998a).

Ainda segundo este autor, existem dois dispositivos de controle de fissuras:

- Emprego de armadura distribuída, em que a armadura terá apenas função de manter as faces das fissuras ligadas, impedindo a separação, caracterizando o pavimento continuamente armado.

- Emprego de seções artificialmente enfraquecidas, chamadas de juntas, que são executadas para forçar a ocorrência de fissuras em locais determinados em projeto, caracterizando o pavimento de concreto simples.

Para este trabalho será utilizado o pavimento de concreto simples, composto por juntas transversais, longitudinais e de encontro para o controle das fissuras.

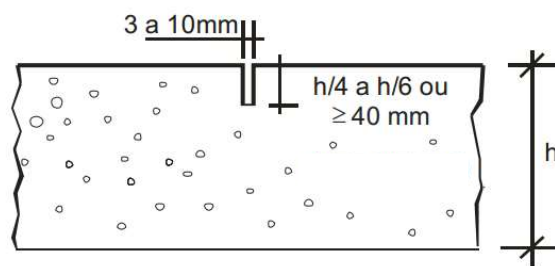
2.5.1.1. Juntas transversais

São construídas no sentido transversal, ou seja, na largura da placa de concreto. Tem por objetivo controlar as fissuras transversais, que surgem devido à contração volumétrica do concreto (PITTA, 1998a). São classificadas em: de retração (ou contração), de retração com barras de transferência e de construção.

a) Junta transversal de retração (ou contração):

A junta é formada através da execução de um corte ou ranhura na superfície da placa de concreto, até uma profundidade apropriada. Essa profundidade deve ser executada entre $1/4$ e $1/6$ da espessura da placa, com um mínimo de 4 cm, e a abertura pode variar entre 3 mm a 10 mm, conforme pode ser observado na Figura 9 (PITTA, 1998a).

Figura 9 - Junta transversal de retração.



Fonte: DNIT (2005, p. 154).

O espaçamento entre as juntas transversais de retração deve ser determinado levando em conta as seguintes variáveis: o tipo de agregado graúdo empregado, as condições ambientais, o atrito entre a placa e a camada subjacente e

o tipo de tráfego (PITTA, 1998a). A Tabela 2 apresenta o espaçamento recomendado para este tipo de junta, levando em conta o tipo de agregado.

Tabela 2 - Espaçamento recomendado entre juntas transversais.

Tipo de agregado graúdo	Espaçamento recomendado entre juntas transversais (m)
Pedra britada granítica	até 7,5
Pedra britada calcária, sílico-calcária ou pedregulho calcário	até 6,0
Seixo rolado, cascalho ou escória com dimensão máxima menor que 19 mm	até 4,5

Fonte: DNIT (2005, p. 155).

No Brasil, experiências mostram que uma distância máxima de 6 m entre as juntas é adequada às nossas condições (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

b) Junta transversal de retração com barras de transferência:

Além de controlar as fissuras de retração do concreto, essas juntas transferem a carga de uma placa para a outra. A adoção das barras de transferência nas juntas depende do tráfego de projeto, da magnitude das cargas e do tipo da fundação do pavimento (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

Ainda conforme estes autores, a ação do tráfego pesado juntamente com uma falta de uniformidade de suporte da placa, pode causar um deslocamento vertical entre as placas, como mostra na Figura 10.

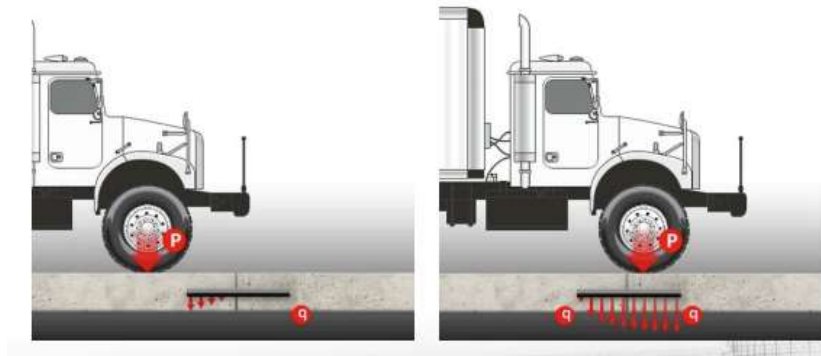
Figura 10 - Placas sob ação de tráfego pesado sem barras de transferência.



Fonte: ABCP (2016a).

Para impedir o deslocamento vertical das placas e diminuir artificialmente a carga são empregadas barras de transferência, que transferem uma parcela da carga atuante para a placa seguinte, e são assentadas em plano horizontal paralelo a superfície da placa de concreto, conforme apresentado na Figura 11 (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

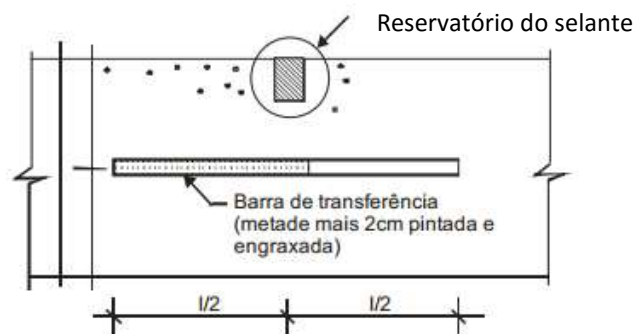
Figura 11 - Placas sob ação de tráfego pesado com barras de transferência.



Fonte: ABCP (2016a).

As barras de transferência devem ser lisas e com metade da barra mais 2 cm pintada e engraxada, a fim de que não adira ao concreto, possibilitando a livre movimentação da junta (DNIT, 2005). Na Figura 12 está representado as características de uma junta de retração com barras de transferência.

Figura 12 - Junta transversal de retração com barras de transferência.



Fonte: DNIT (2005, p. 157).

2.5.1.2. Juntas Longitudinais

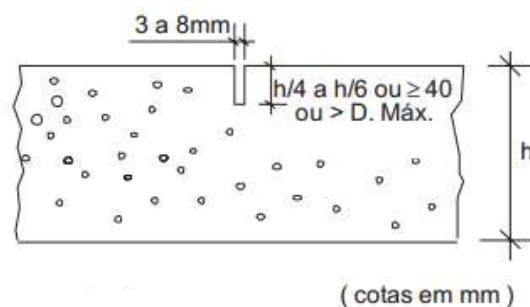
Sua função é o controle das fissuras longitudinais resultantes do empenamento da placa de concreto, esse empenamento consiste na curvatura

formada pela diferença de temperatura e de umidade entre a face superior e a face inferior da placa (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

a) Junta longitudinal de articulação:

O espaçamento recomendado por Pitta (1998a) e pelo DNIT (2005) para este tipo de junta é de no máximo 3,75 m. A Figura 13 mostra uma junta longitudinal de articulação.

Figura 13 - Junta longitudinal de articulação.

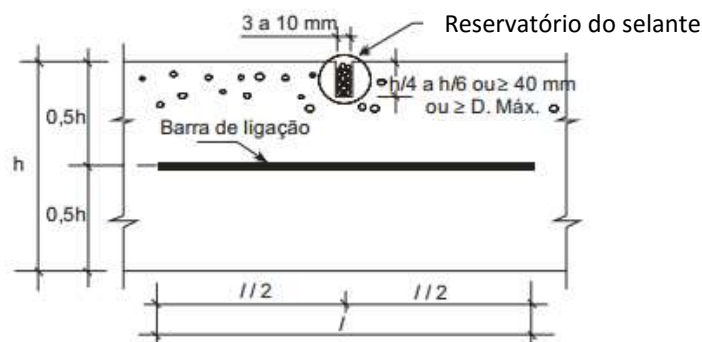


Fonte: DNIT (2005, p. 159).

b) Junta longitudinal de articulação com barras de ligação:

A diferença desta junta para a junta longitudinal de articulação é a presença de barras de ligação, que são empregadas quando há necessidade de manter as faixas de tráfego livres de movimentos laterais (PITTA, 1998a; DNIT, 2005). Segundo Oliveira (2000), as barras devem ser corrugadas e geralmente usa-se barras de aço CA-50 ou CA-60. Na Figura 14 pode-se observar uma junta longitudinal com barra de ligação.

Figura 14 - Junta longitudinal de articulação com barras de ligação.



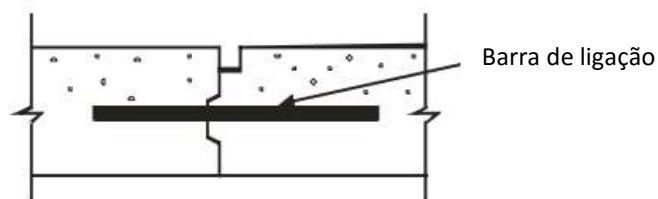
Fonte: DNIT (2005, p. 161).

2.5.1.3. Juntas especiais

a) Junta longitudinal de construção:

Coincidem com as juntas longitudinais de articulação em tipo e espaçamento. Quando é possível executar apenas uma faixa do rolamento por vez, a junta longitudinal de construção possui um encaixe macho-fêmea, conforme ilustrado na Figura 15 (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

Figura 15 - Junta longitudinal de construção com barras de ligação.



Fonte: DNIT (2005, p. 162).

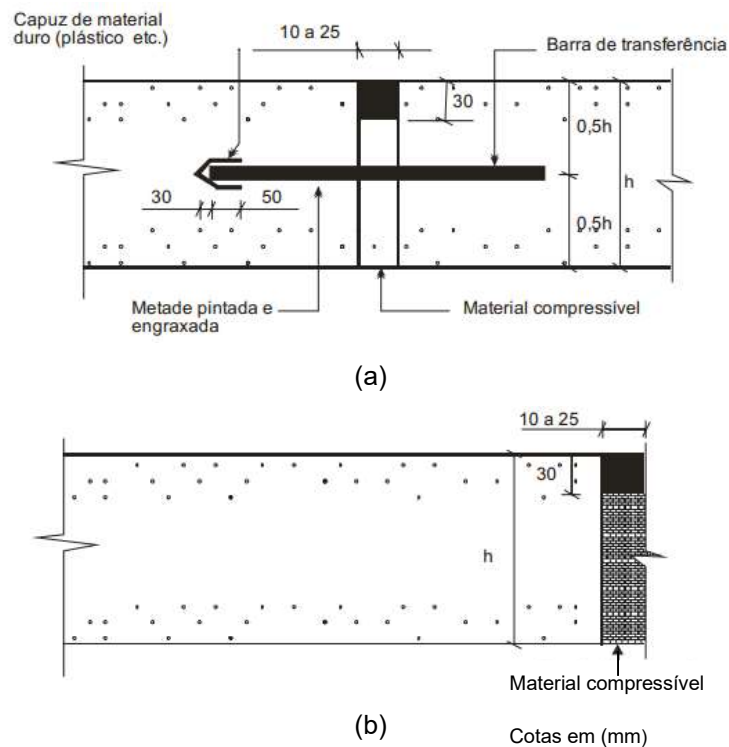
b) Junta transversal de construção:

É necessário utilizar este tipo de junta em dois casos: quando o ciclo de trabalho termina, onde, segundo o projeto, consta uma junta transversal de retração, ou quando ocorre algum imprevisto provocando a paralisação da concretagem antes de atingir o local da junta transversal, como chuva forte, quebra do equipamento ou atraso do lançamento do concreto (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

c) Junta de expansão ou dilatação:

Conforme Oliveira (2000), a junta de expansão tem a função de impedir a troca de esforços entre o pavimento e a estrutura de encontro. São utilizadas em cruzamentos assimétricos de vias e no encontro do pavimento com outras estruturas, como prédios, pontes ou pilares (PITTA, 1998a; DNIT, 2005). A Figura 16 apresenta juntas de expansão típicas.

Figura 16 - Junta de expansão: (a) com barra de transferência, (b) de encontro.



Fonte: DNIT (2005, p. 164).

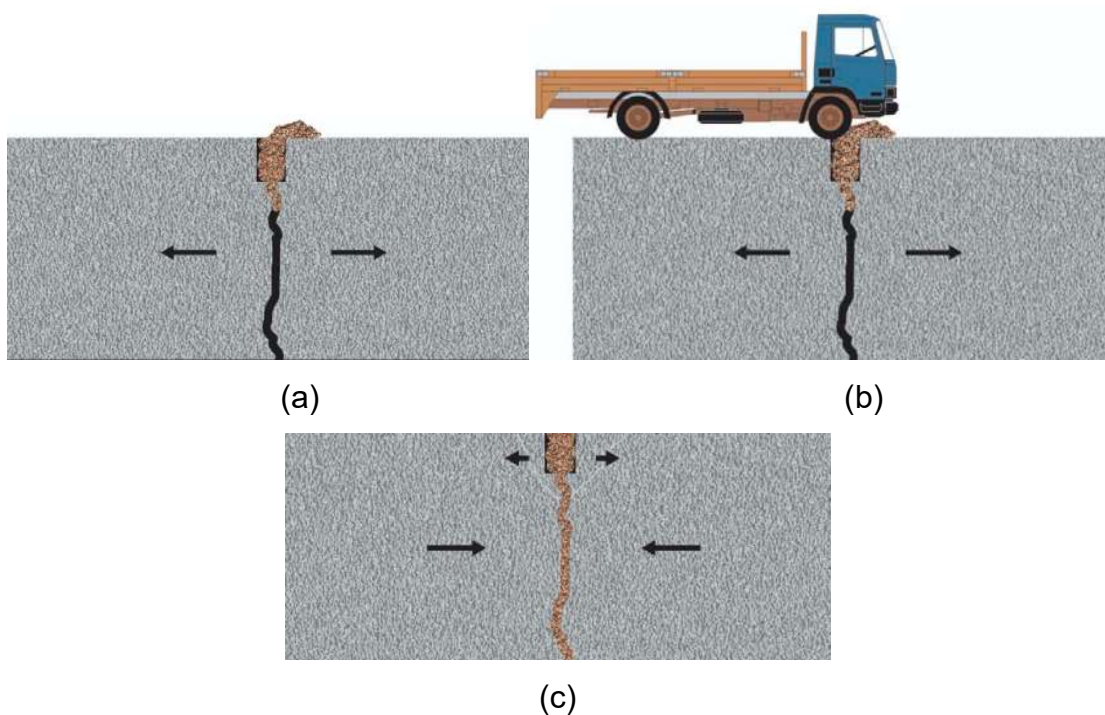
2.5.1.4. Selante das juntas

A selagem das juntas de um pavimento de concreto tem por objetivo impedir a infiltração de água e materiais sólidos através delas (PITTA, 1998a; DNIT, 2005).

Ainda segundo estes autores, a infiltração de água provoca danos a durabilidade do pavimento como um todo, principalmente por causar o bombeamento, que consiste na deterioração gradual do subleito pela expulsão dos finos presentes, prejudicando a continuidade de suporte e provocando assim, o afundamento do subleito, ficando a placa de concreto sujeita a uma breve ruptura.

A presença de materiais sólidos impede a movimentação livre da junta, pois quando da expansão do concreto, o material sólido produz tensões de compressão elevadas, impedindo que a junta feche normalmente (PITTA, 1998a; DNIT, 2005). As tensões provocadas, dependendo da temperatura, da abertura da junta, da distância entre as juntas, do volume do tráfego e do tipo de sub-base, podem atingir valores que afetam a integridade estrutural da junta e da placa de concreto (DNIT, 2005). A Figura 17 representa o caso.

Figura 17 - Presença de sólidos em junta não selada.



Fonte: ABCP (2016b, p. 6).

A Figura 17 (a) apresenta a junta não selada e aberta em tempo frio, sendo preenchida com partículas sólidas. Passando para a figura (b), as partículas são empurradas para o interior da trinca com a ação do tráfego até preenchê-la completamente, e na figura (c) a trinca tende a fechar quando exposta a temperaturas elevadas, originando tensões de compressão, que podem causar o rompimento dos cantos das placas nas juntas.

2.6. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO

Para o dimensionamento de pavimento rígido, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005) apresenta os seguintes métodos: Método da *Portland Cement Association* (PCA) de 1966 e Método da PCA de 1984.

2.6.1. Método da PCA – 1966

Segundo o DNIT (2005), são apresentados dois métodos de dimensionamento para pavimentos rígidos elaborados pela PCA, o de 1966, sendo considerado mais tradicional, e outro mais atual, de 1984, ambos são utilizados no Brasil.

O método foi desenvolvido por G. Pickett a partir dos fundamentos da teoria de Westergaard, e o dimensionamento do pavimento é feito em função do consumo de resistência à fadiga, quando a placa de concreto é submetida a ação da carga do tráfego durante a sua vida útil (SENÇO, 2007).

Ainda segundo Senço (2007), o consumo de resistência à fadiga é determinado considerando as tensões críticas que agem na placa, que são tensões de tração na flexão, e estas são relacionadas com o módulo de rigidez do concreto. A determinação das tensões é realizada com o auxílio de ábacos (OLIVEIRA, 2000).

O método admite ainda, que o concreto tem a sua resistência a fadiga aumentada, quando ocorrem períodos de descanso entre a passagem das cargas (DNIT, 2005).

2.6.2. Método da PCA – 1984

Esta versão do método da PCA, de 1984, incorpora novos conhecimentos obtidos nas áreas de tensões, projeto geométrico, construção e gerência do pavimento rígido, modificando o método seguido desde 1966 (DNIT, 2005).

De acordo do Oliveira (2000), enquanto no método da PCA de 1966 utiliza-se a teoria de Westergaard para determinação das tensões, no método de 1984 emprega-se um modelo de análise estrutural por elementos finitos, levando em conta, conforme o DNIT (2005):

- Tipo e o grau de transferência de carga nas juntas transversais;
- Efeitos da existência ou não de acostamento de concreto;
- Contribuição estrutural das sub-bases de concreto pobre rolado ou convencional, ou tratadas com cimento;
- Ação dos eixos tandem triplo;

- Introduce um modelo de ruína por erosão da fundação do pavimento, no qual são inseridas considerações sobre o escalonamento ou degraus nas juntas, usando-o juntamente com o modelo modificado de fadiga.

Este método considera as características da fundação através do valor de suporte da fundação, o coeficiente de recalque k , o qual é determinado por meio de uma prova de carga estática sobre a fundação, em que é possível relacionar as pressões transmitidas através de uma placa rígida, com no mínimo 76 cm de diâmetro, e os descolamentos correspondentes (PITTA, 1998b).

Conforme o DNIT (2005), este método se aplica a pavimentos de concreto simples, com ou sem barras de transferência, e a pavimentos com armadura distribuída.

3. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Um projeto de pavimentação compreende estudos geotécnicos e o dimensionamento do pavimento. Os estudos geotécnicos são divididos em estudos do subleito e estudos de ocorrências de materiais para a pavimentação (DNIT, 2006a).

Para a construção de um pavimento, é necessário o conhecimento dos materiais constituintes das camadas desse pavimento e dos materiais do subleito (SENÇO, 2007).

Neste capítulo será apresentado características geotécnicas e mecânicas dos materiais empregados no projeto de pavimentação. Os ensaios foram realizados por Machado (2015), Almeida (2015) e Santos (2015).

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objeto de estudo, o Terminal Universitário, é um projeto da Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ), e faz parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2) do governo federal. O PAC 2 é um plano do governo com ações de infraestrutura social e urbana para enfrentar os problemas das grandes cidades brasileiras, priorizando obras de pavimentação, drenagem e contenção de encostas (BRASIL, 2015).

Segundo o IPPUJ (2016), com o desempenho da economia industrial, bem como as ampliações dos setores universitários e tecnológicos (com UNIVILLE, UDESC e SENAI), aliado à superlotação da Estação Norte, se faz necessária a criação de mais um Terminal de passageiros na região norte de Joinville. Desta forma, o Terminal Universitário tem por objetivo atender a demanda atual da região, e está projetado entre a Avenida Edgar Nelson Meister e a Rua Alvino Wodtke, no encontro dos bairros Bom Retiro, Santo Antônio, Jardim Sofia e Zona Industrial Norte.

Na Figura 18 é possível observar o local onde será construído o terminal e o ponto de sondagem para coletar amostras do subleito. O terminal contará com uma área de aproximadamente 8.752 m², sendo 4.900 m² pavimentado.

Figura 18 – Localização do Terminal Universitário.



Fonte: IPPUJ (2016).

3.2. ESTUDO DO SUBLEITO

O subleito é o terreno de fundação do pavimento, que suporta toda a estrutura acima (SENÇO, 2007). O estudo do subleito tem por objetivo o reconhecimento dos solos para caracterização das camadas e o traçado dos perfis dos solos (DNIT, 2006a).

Para obter informações sobre o subleito e o pavimento existente, foi coletado material no ponto mostrado na Figura 18. O local foi escolhido junto com o IPPUJ, de modo a causar a menor interferência possível no trânsito local e respeitando a existência de tubulações ou outras instalações da SEINFRA, Celesc, Companhia Águas de Joinville e SC Gás.

A escavação foi realizada no canteiro e adjacente ao meio fio, de modo a não danificar o pavimento existente, permitindo a observação da estrutura existente, obtendo informações sobre as espessuras e materiais das camadas. Foi utilizado uma retroescavadeira para ajudar na abertura do terreno e coleta de material do subleito, durando aproximadamente 2 horas todo o processo de abertura do poço de

sondagem, de remoção do solo e de recomposição da intervenção. As fases do processo de coleta de material do subleito estão ilustradas na Figura 19.

Figura 19 – Processo de escavação e coleta do solo do subleito.

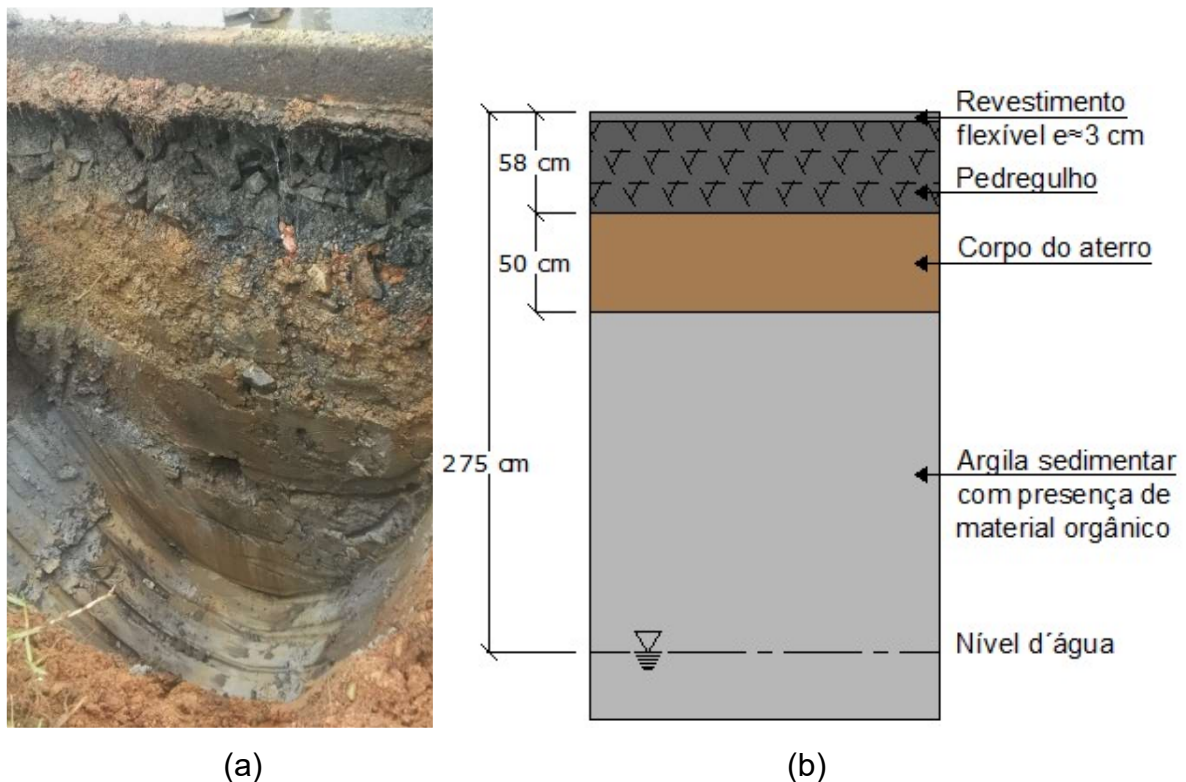


Fonte: Autora (2016).

O poço de sondagem foi escavado até uma profundidade de 3 metros, encontrando o nível d'água em aproximadamente 2,75 m. Em uma análise tátil-

visual *in situ*, constatou-se que o solo do subleito é uma argila sedimentar, com cor acinzentada e com presença de material orgânico. A Figura 20 apresenta uma foto do local (a), e a estrutura do pavimento existente com as camadas, definidas por meio tátil-visual, e espessuras encontradas (b).

Figura 20 – Estrutura de pavimento existente.



Fonte: Autora (2016).

De acordo com a NBR 12307 (1991) - Regularização do subleito, as condições mínimas que o solo do subleito necessita apresentar é um CBR maior ou igual a 2% e expansão menor ou igual a 2%. Mesmo com a norma NBR 12307 (1991) cancelada, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006a) apresenta as mesmas condições mínimas para o subleito.

Devido a argila de ocorrência local ser considerada de baixa capacidade de suporte, com presença de água a partir de 2,75 m de profundidade, foi considerado, para efeito de projeto, como possuindo $CBR \leq 2\%$. Diante das observações locais quanto ao estado do solo de fundação, foi decidido pela realização da substituição de parte do subleito, até a profundidade de 2,50 m, por um solo de melhor qualidade, considerado como camada de reforço. A profundidade de substituição foi

adotada em função da proximidade com o nível d'água, e para consolidação da camada de colchão drenante.

Para a referida substituição foram analisados os resultados dos ensaios feitos por Santos (2015), os quais serão melhor explorados nos tópicos seguintes.

Santos (2015) utilizou para realização dos ensaios um solo residual de gnaiss, siltoso e expansivo de uma jazida localizada em Joinville-SC, misturado a uma areia descartada de fundição (ADF) proveniente da moldagem de peças da empresa Tupy, também localizada em Joinville-SC.

3.2.1. Areia de fundição

A areia de fundição é uma mistura de elementos, que juntos fornecem características de perfeita trabalhabilidade da mistura que compõe a caixa de moldagem de peças metálicas. É constituída basicamente por areia (constituída essencialmente de sílica), pó de carvão, bentonita e água. Esta areia é utilizada no processo de fundição de peças metálicas, gerando a areia descartada de fundição (CARNIN *et al.*, 2010).

A ADF é depositada em aterros industriais, ocasionando grandes volumes e custos às empresas geradoras deste resíduo, além de contaminar o meio ambiente caso não seja descartada de forma correta (MACHADO, 2015).

O reaproveitamento de ADF como solução de pavimentação contribui para diminuir a poluição do meio ambiente, diminuir a quantidade de recursos naturais explorados e minimizar a problemática das indústrias com o descarte deste material (KLINSKY, 2008).

Desta forma, Santos (2015) utilizou para estudo uma areia de fundição classificada como CLASSE IIA – NÃO PERIGOSO – NÃO INERTE, conforme a NBR 10.004 – Resíduos sólidos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

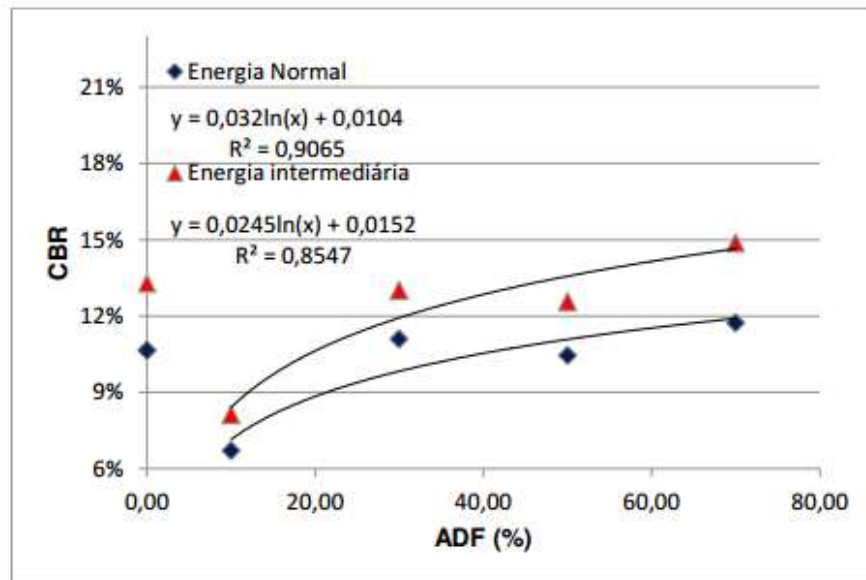
3.2.2. CBR e Expansão

O CBR, ou Índice de Suporte Califórnia, é um ensaio para medir a resistência pós-compactação dos solos, ou seja, para avaliar a resistência do material frente a deslocamentos significativos. A expansão é medida em relação ao

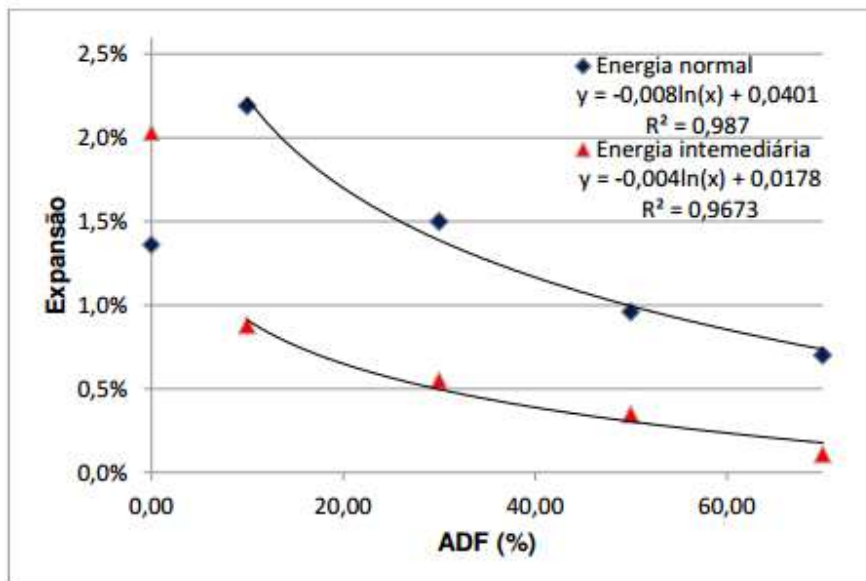
aumento do volume do solo quando em contato com a água (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A Figura 21 apresenta os resultados de variação do CBR (a), da expansão (b), da umidade ótima (c) e da densidade seca máxima (d), do solo residual de gnaiss, obtidos por Santos (2015).

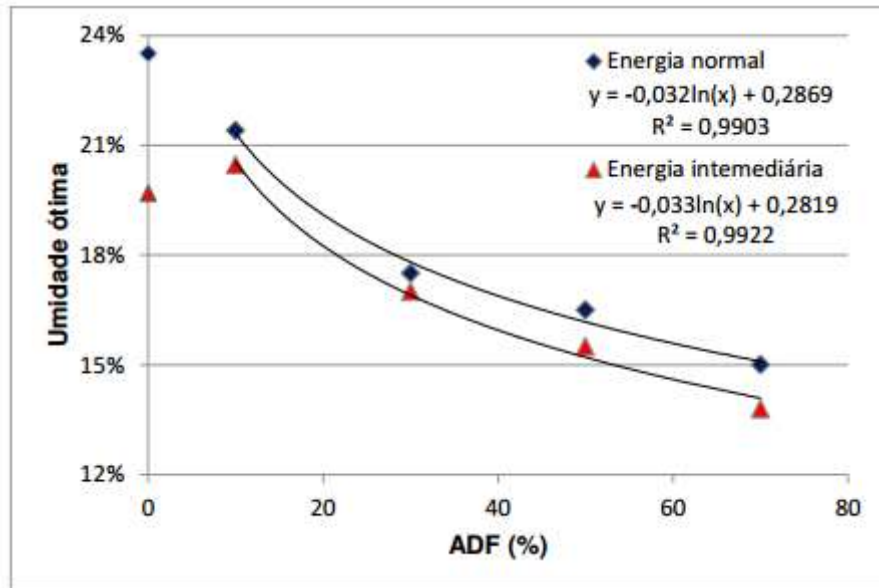
Figura 21 - Variação do CBR, da expansão, da umidade ótima e da densidade seca máxima em relação à porcentagem de ADF.



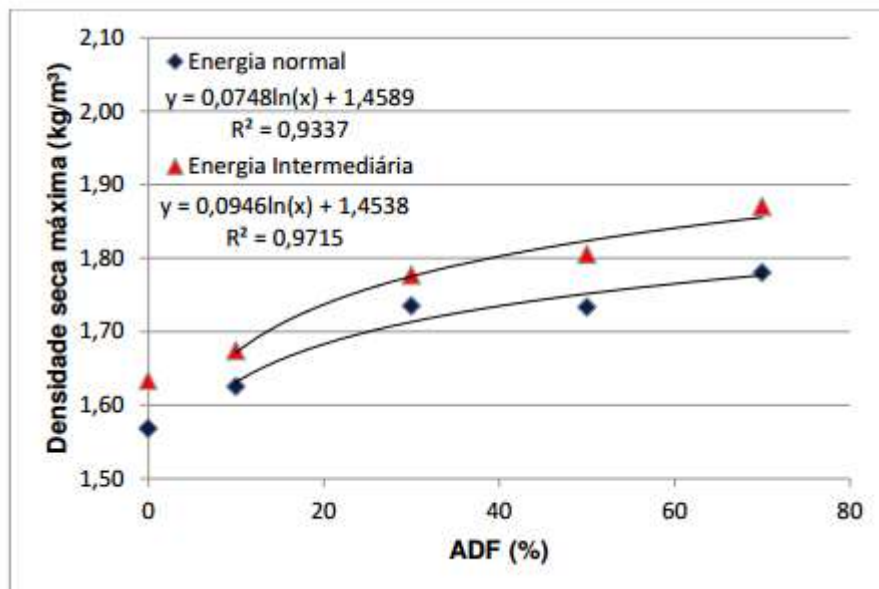
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Santos (2015, p. 68, 69, 70 e 71).

Adição de ADF não resultou consideráveis melhoras no valor do CBR em relação ao valor para o solo puro, apenas para uma adição de 70% de ADF no solo o CBR teve um aumento significativo, resultando o valor de 11,72% para energia normal, e para a energia intermediária atingiu valor de 14,87% (SANTOS, 2015).

Ainda conforme Santos (2015), comparando o solo puro com a adição de 70% de ADF a expansão cai de 1,36% para 0,7% na energia normal e de 2,03% para 0,2% na energia intermediária. Desta maneira, o material poderá ser utilizado

como substituição do solo, visto que atende as condições mínimas propostas pelo DNIT (2006a).

3.3. ESTUDO DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO

O objetivo do estudo das ocorrências de materiais é o reconhecimento e a caracterização dos materiais de jazidas para utilização na composição das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (DNIT, 2006a).

Para a estrutura do pavimento foram analisados os estudos dos seguintes materiais: saibro arenoso, brita graduada simples (BGS), areia, peças pré-moldadas de concreto e concreto. Ambos são provenientes de jazidas e empresas de Joinville.

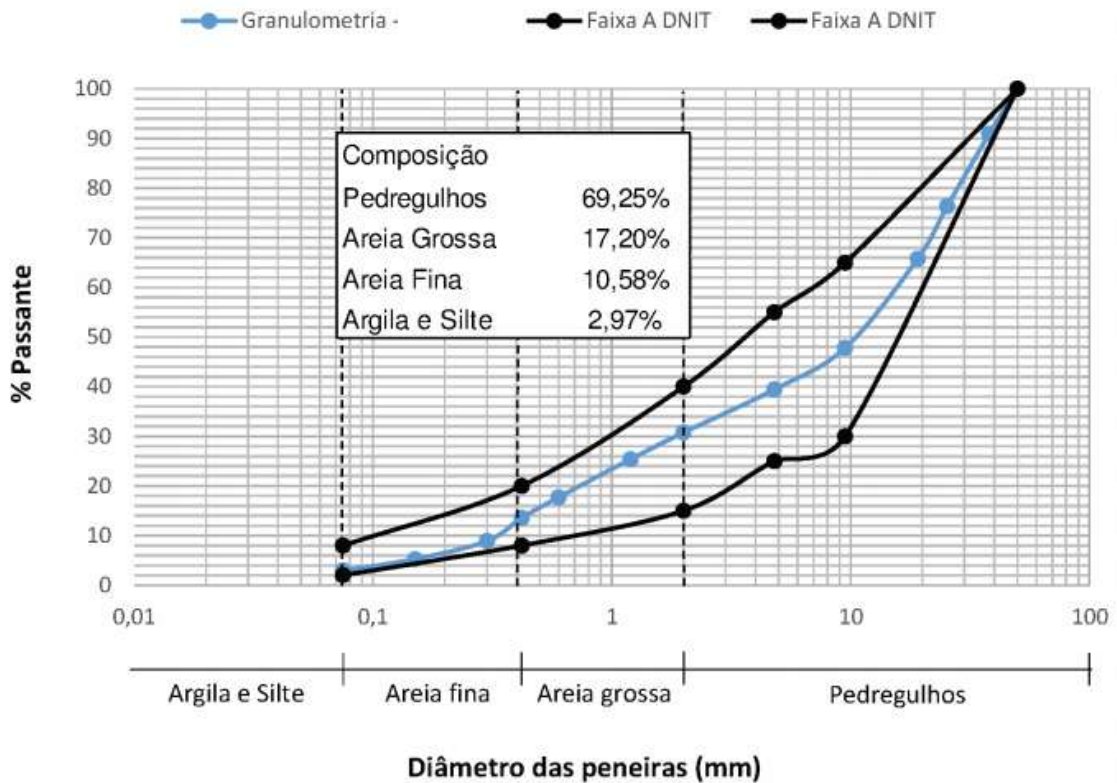
3.3.1. Saibro arenoso (Sub-base)

Segundo Senço (2007), a sub-base é a camada complementar à base, e o material adotado deverá possuir características geotécnicas superiores às do material do reforço.

O IPPUJ adotou no seu projeto de pavimentação uma camada de Concreto compactado a rolo (CCR) para a sub-base, porém, como o CCR é executado em grandes extensões e não em placas, ocorre retração volumétrica na camada e podem ocorrer trincas, sendo assim, foi utilizado como solução o saibro arenoso estudado por Machado (2015) e Almeida (2015).

Almeida (2015) realizou ensaios de granulometria do solo, limites de consistência (limite de liquidez - LL e limite de plasticidade - LP) e massa específica real dos grãos para o saibro. A curva granulométrica do saibro está apresentada na Figura 22, onde observa-se que o material se enquadra na faixa granulométrica A do DNIT, que é caracterizada como uma faixa de granulação aberta, que permite o rápido escoamento das águas que permearam o revestimento (ALMEIDA, 2015).

Figura 22 – Curva granulométrica do saibro com faixa granulométrica A do DNIT.



Fonte: Almeida (2015, p. 72).

De acordo Almeida (2015), devido ao saibro ser composto basicamente por pedregulhos (69,25%) e areia (27,78%), a determinação dos limites de consistência iniciou-se pelo limite de plasticidade do solo, o que resultou em um solo classificado como não plástico (NP), pois era muito quebradiço e impossibilitou a moldagem do cilindro padrão. Para a massa específica real dos grãos, Almeida (2015) obteve um valor de 2,89 g/cm³.

Para os ensaios de compactação Proctor, CBR e expansão do solo foram analisados os resultados do estudo de Machado (2015), que comparou os resultados apresentados pelo saibro nas três energias de compactação, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Informações Saibro Arenoso.

Energia Proctor	Normal	Intermediária	Modificada
Densidade seca máxima (g/cm³)	1,671	1,771	1,837
Umidade ótima (%)	16,6	14,4	12,1
CBR (%)	17,68	35,07	57,97
Expansão (%)	0,04	0,09	0,07

Fonte: Machado (2015, p. 62).

O saibro é altamente empregado para execução de reforço do subleito e sub-base no Brasil, mesmo apresentando em geral valores de CBR elevados, podem mostrar elevada deformabilidade devido a sua natureza mineralógica, necessitando ser empregado com os devidos cuidados (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Em virtude de o Terminal Universitário receber cargas concentradas, principalmente nas paradas dos ônibus nas plataformas e no estacionamento, é necessário verificar a deformabilidade do saibro. Machado (2015) realizou esta verificação com o ensaio de índice de desgaste após compactação Marshall sem ligante (IDm), que consiste na diferença entre a granulometria após a compactação e a natural. O resultado do ensaio foi de 7,7%, estando dentro do limite requerido pela normatização do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) - ME 401 (1999), onde o índice de desgaste após a compactação Marshall sem ligante deve ser menor ou igual a 8%.

Com o resultado, é possível utilizar o material para camada de sub-base, pois segundo Almeida (2015), o material pode ser considerado estável, sem grandes deformações.

3.3.2. Brita graduada simples (Base)

O pavimento rígido não possui a camada de base, pois o revestimento exerce a sua função, que consiste em resistir aos esforços verticais recebidos do tráfego e distribuí-los às camadas subjacentes (SENÇO, 2007). Já o pavimento intertravado conta com a camada de base entre o revestimento e a sub-base, em que foi adotado a brita graduada simples para composição desta camada.

A brita graduada, conforme o Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo (DER/SP, 2005), é a camada composta pela mistura, feita em usina, de agregados obtidos da britagem de rocha sã, garantindo estabilidade a camada quando enquadrada em uma faixa granulométrica contínua.

Para um bom desempenho da camada de base, é necessário que o projeto da mistura dos agregados atenda a alguns requisitos descritos pelo DNIT (2006a), são eles:

- A curva da mistura de agregados deve ser enquadrada em uma das faixas granulométricas da Tabela 4;
- Deve apresentar um CBR igual ou superior a 80% e expansão igual ou inferior a 0,5%;
- A porcentagem de material passante na peneira número 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem passante na peneira número 40.

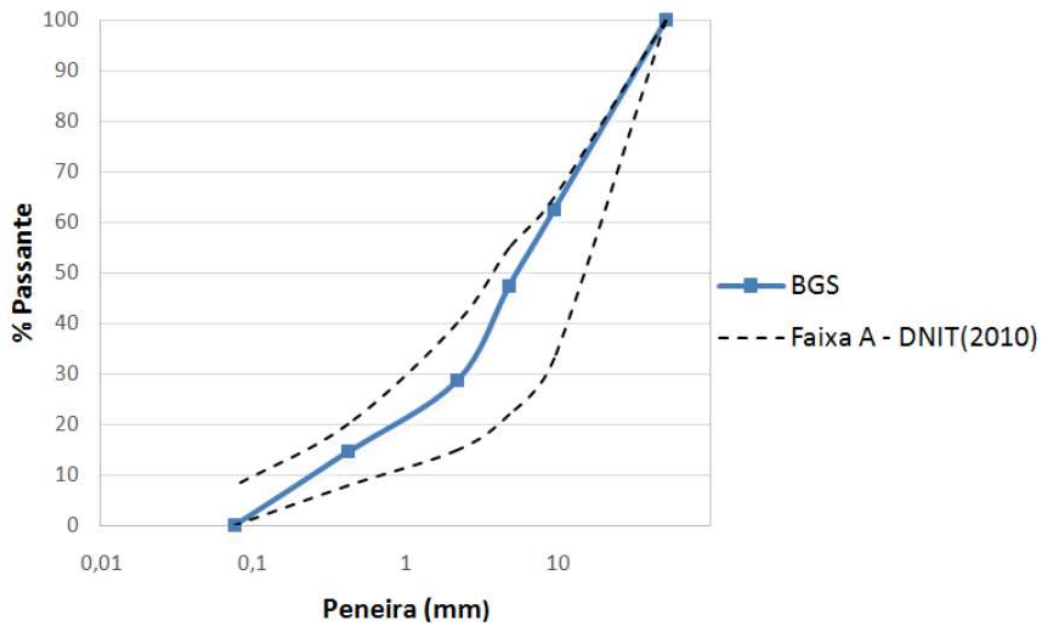
Tabela 4 – Faixas Granulométricas.

Tipos Peneiras	I				II	
	A	B	C	D	E	F
	% em peso passando					
2"	100	100	-	-	-	-
1"	-	75 - 90	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-
Nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	10 - 100
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
Nº 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25

Fonte: DNIT (2006a, p. 136).

Machado (2015) realizou os ensaios de Compactação Proctor, CBR e Granulometria de uma brita graduada procedente de uma jazida de Joinville. No ensaio de compactação na energia modificada foi encontrado a umidade ótima de 6,28%, e massa específica seca máxima de 2,32 g/cm³. O ensaio de CBR com um corpo de prova compactado sob energia modificada com a umidade ótima obteve o valor de 100%, e expansão de 0%. Já a curva granulométrica se enquadra na faixa A do DNIT (2010), conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Curva granulométrica BGS.



Fonte: Machado (2015, p. 68).

De acordo com os resultados dos ensaios realizados por Machado (2015), pode-se constatar que a brita graduada estudada pode ser utilizada para execução da camada de base do pavimento intertravado.

3.3.3. Areia (Camada de assentamento)

Conforme já citado, a camada de assentamento do pavimento intertravado é composta por material granular, com a função de assentar as peças pré-moldadas de concreto (ABCP, 2002a).

A areia analisada para a camada de assentamento foi estudada por Machado (2015), e é proveniente de uma empresa especializada na reciclagem de resíduos da construção civil, que produz agregados para utilização em diversas áreas, como areias para colchão de assentamento para pavimentos intertravados. Assim como a utilização da ADF, a reciclagem e reutilização de entulhos contribui para diminuir a poluição e a redução da utilização de recursos naturais.

Areia reciclada mista (ARM) é a denominação da areia analisada e, é obtida através da reciclagem de material de segunda categoria, que são resíduos de telhas,

tijolos, blocos pré-moldados, argamassa e pisos de concreto ou cerâmico (MACHADO, 2015).

Quanto as especificações para a camada de assentamento, Carvalho (1998) afirma que a areia deve ser composta de no máximo 10% de material retido na peneira de 4,8 mm, e recomenda o enquadramento da areia na faixa granulométrica da Tabela 5, que apresenta também os resultados encontrados por Machado (2015) no ensaio de granulometria da ARM.

Tabela 5 – Porcentual passante de ARM comparando com a faixa granulométrica recomendada.

Peneiras	% Passante	
	ARM	CARVALHO (1998)
9,5	100	100
4,8	98,2	95 a 100
1,2	56,59	50 a 85
0,6	39,88	25 a 60
0,3	25,15	10 a 30
0,15	9,22	5 a 15
0,075	2,99	0 a 10

Fonte: Machado (2015, p. 74).

Como observado na Tabela 5, a ARM analisada pode ser utilizada na composição da camada de assentamento das PPC, pois os resultados encontrados estão dentro da faixa recomendado por Carvalho (1998).

3.3.4. Peças pré-moldadas de concreto (Revestimento)

Para o revestimento do pavimento intertravado foi analisado um estudo de Carnin *et al.* (2010), que utilizou peças pré-moldadas de concreto contendo areia descartada de fundição gerada pela Tupy. Além de ADF, as PPC são compostas também de: cimento, água e pó de brita.

Carnin *et al.* (2010) realizaram caracterizações para verificar se a ADF atendia as exigências da Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) 011/08. A ADF foi classificada como Resíduo Classe IIA - NÃO INERTE, conforme a Norma ABNT NBR 10.004 – Resíduos Sólidos, e de acordo

com os resultados de Carnin *et al.* (2010), a ADF não é tóxica e pode ser utilizada na produção de PPC, pois atende aos requisitos estabelecidos pela CONSEMA.

A Norma da ABNT NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação, estabelece a resistência característica à compressão que a PPC necessita possuir, que deve ser maior ou igual a 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e maior ou igual a 50 MPa para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. Os resultados de Carnin *et al.* (2010) de resistência à compressão das amostras estão presentes na Tabela 6, em que o ensaio foi executado com 45 dias de cura das amostras.

Tabela 6 – Resultados de resistência à compressão da amostra de peças.

Amostra	Tensão alcançada (MPa)	Tensão característica da peça (MPa)	fd - resistência média do lote (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente student - t	Fpk - resistência característica do lote (MPa)
1	39,44	37,47	37,79	2,132	0,883	35,91
2	39,04	37,09				
3	41,73	39,64				
4	40,74	38,7				
5	37,91	36,01				
6	38,2	36,29				
7	40,14	38,13				
8	39,4	37,43				
9	36,87	35,03				
10	44,34	42,12				

Fonte: Carnin *et al.* (2010, p. 63).

Observando os resultados, as peças de Carnin *et al.* (2010) podem ser utilizadas para o pavimento intertravado, caso sejam utilizados PPC com resistência à compressão de no mínimo 35 MPa.

3.3.5. Concreto (Revestimento)

O concreto utilizado na execução de pavimentos rígidos deve possuir uma resistência à tração na flexão definida em projeto, que normalmente é de 4,5 MPa. Além disso, deve apresentar baixa variação volumétrica, trabalhabilidade compatível

com o equipamento a ser utilizado no espalhamento, adensamento e acabamento do concreto, e consumo de cimento igual ou superior a 320kg/m^3 de concreto (DNIT, 2005).

Ainda segundo o DNIT (2005), para atender as condições acima é necessário um cuidadoso estudo do traço do concreto, considerando o tipo e a eficiência do cimento, quantidade de água, temperatura do concreto e dos materiais, tipos de aditivos e métodos de cura, e verificar as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido. Para isso, o traço utilizado para o pavimento rígido procede do estudo realizado por Barra e Lima Jr. (2001), que determina a dosagem do concreto baseada em um pavimento construído em Memphis, Tennessee.

Barra e Lima Jr. (2001) utilizaram no concreto estudado a adição de fibras de aço e polipropileno, empregados para reforçar materiais de comportamento frágil. Por possuir elevada rigidez e resistência a tração, a fibra possibilita ao concreto um melhor suporte as tensões recebidas dos carregamentos, fazendo com que a energia liberada seja distribuída ao longo da estrutura, evitando a sobrecarga (ALMEIDA, 2015).

Quanto ao traço do concreto, conforme os estudos de Barra e Lima Jr. (2001) e em concordância com os requisitos estabelecidos pelas normas do Brasil e pelos fabricantes, resultou em:

- Traço unitário → 1 : 2 : 3 ou 1 : 5
- Relação água/cimento → 0,50
- Consumo de cimento → 369 kg/m^3
- Consumo de fibra de PP → $0,63\text{ kg/m}^3$

Observando os resultados, o concreto estudado pode ser utilizado por apresentar valores dentro do recomendado, inclusive o valor de consumo do cimento está acima do recomendado pelo DNIT (2005), que conforme já citado, deve ser valor igual ou superior a 320kg/m^3 de concreto.

Além do traço do concreto, é necessário verificar a sua eficiência quanto ao suporte aos carregamentos aplicados na estrutura. Barra e Lima Jr. testaram corpos de prova quanto a esforços mecânicos de compressão simples, compressão diametral e a tração na flexão, os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de ruptura dos corpos de prova aos 28 dias.

Tipo do Ensaio	Resultado (MPa)
Compressão Simples	35 a 40
Compressão Diametral	3,0 a 3,7
Tração na Flexão	4,5 a 5,0

Fonte: Barra e Lima Jr. (2001).

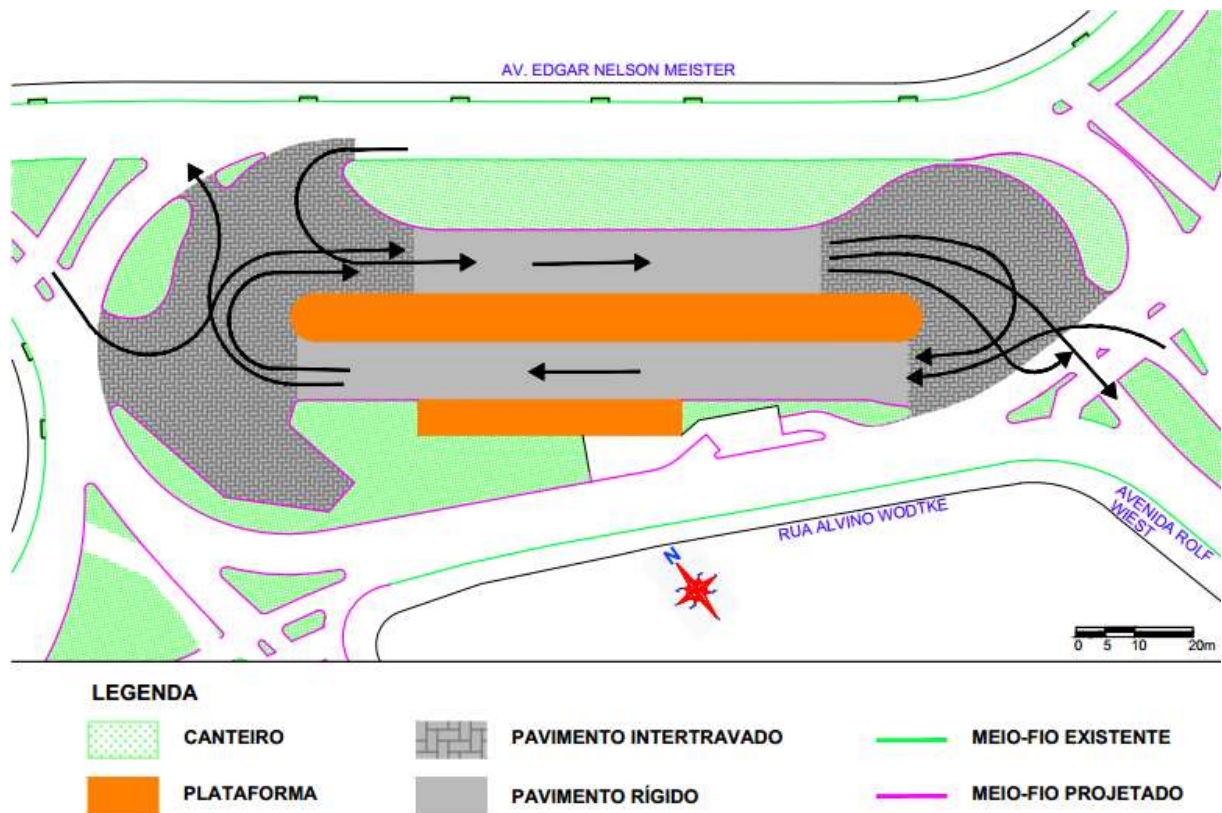
O DNIT (2005) recomenda um valor de resistência à tração na flexão, aos 28 dias, na faixa 4,5 MPa. Pois se a resistência atingir valores baixos, como 4,0 MPa ou menos, o concreto possuirá maior permeabilidade, uma durabilidade inadequada e uma espessura da placa de concreto elevada, enquanto que uma resistência muito alta, de 5,0 MPa ou superior, caracteriza um concreto com menor permeabilidade, durabilidade adequada e menor espessura da placa de concreto, porém exige um controle tecnológico rigoroso, e com custo inicial maior.

Com isso, adotou-se um valor de resistência à tração na flexão de 4,5 MPa, aos 28 dias, para o presente trabalho.

4. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Com os dados referentes ao solo do subleito e os estudos de caracterização dos materiais pertinentes ao projeto de pavimentação, é possível dimensionar o pavimento do Terminal Universitário. Para este projeto, será considerado pavimento intertravado nas áreas de manobra e o pavimento rígido nas plataformas, como mostra a Figura 24, que apresenta a planta baixa do Terminal projetada pelo IPPUJ.

Figura 24 - Planta baixa do Terminal Universitário.



Fonte: Adaptado do IPPUJ (2016).

A área de manobra do terminal está sujeita a esforços tangenciais e vários tipos de manobras, como representado na Figura 24, que apresenta as possíveis trajetórias seguidas pelos ônibus. O pavimento intertravado apresenta um melhor desempenho para essas áreas, por apresentar uma distribuição das cargas entre as PPC mais rápida e sem deslocamento, e facilidade na manutenção, pois as peças podem ser retiradas pontualmente para reparo, sem comprometer o restante do

arranjo estrutural. Além do fato que o pavimento rígido estaria sujeito a uma ruptura das placas de concreto, devido ao cisalhamento das barras de transferência quando expostas a esforços de várias direções.

Já o pavimento entre as plataformas está sujeito a carregamentos estáveis e quase estáticos, devido aos movimentos de aceleração e frenagem dos ônibus, sendo o pavimento rígido o mais indicado para estas situações, por possuir alta durabilidade e baixa manutenção, resultando em economia com os gastos de manutenção, e compensando ao valor elevado, comparado ao pavimento flexível, de construção (SUZUKI *et al.*, 2012).

Para dimensionar o pavimento, é necessário conhecer o tráfego no local, os fatores de segurança, o período de projeto e a projeção do tráfego (MESQUITA, 2001).

4.1. ESTUDO DO TRÁFEGO

O pavimento é dimensionado em função do número N , que é o número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão durante o período de projeto (p) (DNIT, 2006a). O número N é calculado de acordo com a equação (1):

$$N = Vt \times FV \times FR \quad (1)$$

Sendo:

Vt = Volume total do tráfego para o período p de projeto;

FV = Fator de veículos;

FR = Fator climático regional.

Para o cálculo do volume total do tráfego, é necessário conhecer o volume médio diário, conforme a equação (2):

$$Vt = 365 \times p \times Vm \quad (2)$$

Sendo:

p = período de projeto;

Vm = volume médio do tráfego diário.

O volume médio é calculado com a média entre o volume do tráfego atual (V_0) e o volume diário de tráfego no ano p de projeto (V_p). Considerando um crescimento aritmético do tráfego, o V_p é calculado conforme a equação (3):

$$V_p = V_0 \times \left(1 + p \left(\frac{t}{100} \right) \right) \quad (3)$$

Onde: t é a taxa de crescimento aritmético, medida em porcentagem.

Em consulta às empresas responsáveis pelo transporte público em Joinville, Gidion e Transtusa, o número de viagens de ônibus previstas para o Terminal Universitário será de 374, sendo, 185 chegadas no terminal e 189 partidas. Ou seja, o terminal contará com a circulação diária de 374 veículos. Além disso, com base nos dados fornecidos de renovação da frota de ônibus, foi considerado uma taxa de crescimento aritmético de 1,60%.

O período de projeto adotado para o Terminal pelo IPPUJ é de 30 anos. Resultando em valores apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Resultado V_p , V_m e V_t .

V_p (veículos/dia)	553,52
V_m (veículos/dia)	463,76
V_t (veículos)	5.078.172,00

Fonte: Autora (2016).

O Fator de Veículos é calculado pelo produto dos Fatores de Carga (FC) e de Eixo (FE). O Fator de Carga pode ser obtido através de ábacos, método *American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)*, ou por equações, método *United States Army Corps of Engineers (USACE)*.

O DNIT (2006b), utiliza como base o método do USACE para cálculo do fator de carga. A Tabela 9 apresenta as equações deste método.

Tabela 9 - Fator de Equivalência de Carga do USACE.

TIPO DE EIXO	FAIXAS DE CARGA (t)	EQUAÇÕES (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 - 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 - 11	$FC = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 - 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P = Peso bruto total sobre o eixo		

Fonte: DNIT (2006b, p. 114).

Para o tráfego no terminal, será considerado 100% da movimentação feita por veículos tipo ônibus eixo simples, conforme Figura 25, com 8,2 toneladas por eixo, então $P = 8,2t$.

Figura 25 - Ônibus da frota do transporte público de Joinville/SC.



Fonte: A Notícia (2013).

O cálculo do fator de carga (FC) está representado na Tabela 10 a seguir, em que a Equivalência é calculada pelo produto do F_e , calculado pela fórmula da USACE, pela frequência de cada tipo de eixo (porcentagem), e o fator de carga é calculado pela equação (4):

$$FC = \frac{\text{Equivalência}}{100} \quad (4)$$

Tabela 10 - Resultado do fator de carga (FC).

Eixo Simples (t)	%	Fe	Equivalência	FC
8,2	100	0,951	95,1	0,951

Fonte: Autora (2016).

O Fator de Eixos (FE) é determinado a partir da composição do tráfego, em função da porcentagem de uma dada composição de eixos, conforme a equação (5):

$$FE = \sum \left(\left(\frac{\%n}{100} \right) \times n \right) \quad (5)$$

Onde n é o número de eixos. Logo, considerando a distribuição da composição de eixos, FE resulta em 1, e FV em 0,95.

O fator climático regional (FR) está relacionado com a média anual de chuva, em milímetros, na região estudada. No Brasil, o fator climático é considerado como 1,0.

Utilizando a equação (1), o número equivalente de operações pode ser calculado, resultado em $N = 4,82 \times 10^6$. Segundo a classificação das vias e parâmetros de tráfego, o tráfego do local está classificado entre meio pesado e pesado, como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego.

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto anos	Volume inicial na faixa mais carregada		Equivalente por Veículo	N	N Caracter.
			Veículo leve	Caminhão e ônibus			
Via local	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via local e coletora	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias coletoras e estruturais	Meio Pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,40 \times 10^6$ a $3,10 \times 10^6$	2×10^6
	Pesado	12	5001 a 10.000	301 a 1.000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,30 \times 10^7$	2×10^7
	Muito Pesado	12	> 10.000	1.001 a 2.000	5,90	$3,30 \times 10^7$ a $6,70 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de ônibus	Volume Médio	12	-	< 500		$3,00 \times 10^6$	10^7
	Volume Elevado	12	-	> 500		5×10^7	5×10^7

Fonte: São Paulo (2004).

4.2. DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO INTERTRAVADO

Para o dimensionamento das camadas do pavimento intertravado foi utilizado o método da ABCP, presente no Estudo Técnico nº 27 de Carvalho (1998), no qual os parâmetros de dimensionamento são o número N de solicitações do eixo padrão e o CBR.

4.2.1. Revestimento

Para o revestimento do pavimento intertravado será utilizado as peças pré-moldadas de concreto de Carnin *et al.* (2010), que contém areia descartada de fundição em sua mistura.

O formato adotado das PPC foi do tipo 1, PAVI-S e com o assentamento espinha-de-peixe, ver Figura 26. A escolha do tipo PAVI-S ocorreu devido ao formato em "S" provocar uma redistribuição de cargas estáticas e de tráfego, não

permitindo assim, deslocamentos das peças, e alivia a concentração de pressão sobre o solo (MACIEL, 2007).

Figura 26 – PAVI-S em arranjo espinha-de-peixe.



Fonte: Maciel (2007, p. 10).

Foi definido o arranjo espinha de peixe para assentamento pois é recomendado, segundo *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI, 2002) *apud* Cruz (2003), em áreas para tráfego por apresentar maiores níveis de intertravamento e um melhor desempenho estrutural.

Segundo Carvalho (1998), para um tráfego entre meio pesado e pesado, e com número N inferior a $1,0 \times 10^7$, a espessura do revestimento deve ser de 8 cm, com uma resistência a compressão entre 35 a 50 MPa, sendo assim, as peças escolhidas apresentaram resistência característica de 35,91 MPa.

4.2.2. Camada de Assentamento

Segundo Carvalho (1998), a camada de assentamento é composta por areia, incluindo no máximo 5% de silte e argila e 10% de material retido na peneira de 4,8 mm. A espessura da areia compactada deve ser entre 3 e 5 cm.

Para este trabalho foi adotado a areia reciclada mista (ARM) para composição da camada de assentamento das PPC, que de acordo com os resultados do ensaio de granulometria executado por Machado (2015), se encontra dentro da faixa granulométrica recomendada por Carvalho (1998).

A camada de areia será de 7 cm quando não compactada, para que atinja espessura de 4 a 5 cm pós compactação.

4.2.3. Reforço do subleito, Sub-base e Base

A camada de substituição de parte do material do subleito pode ser considerada como um reforço, e para esta camada, será utilizado o solo residual de gnaiss, siltoso com adição de 70% de ADF. Como já citado, esta mistura solo-ADF tem um CBR de 11,72% e expansão de 0,7%. A espessura final da camada de substituição depende das outras camadas, visto que será escavado 2,50 metros para tal.

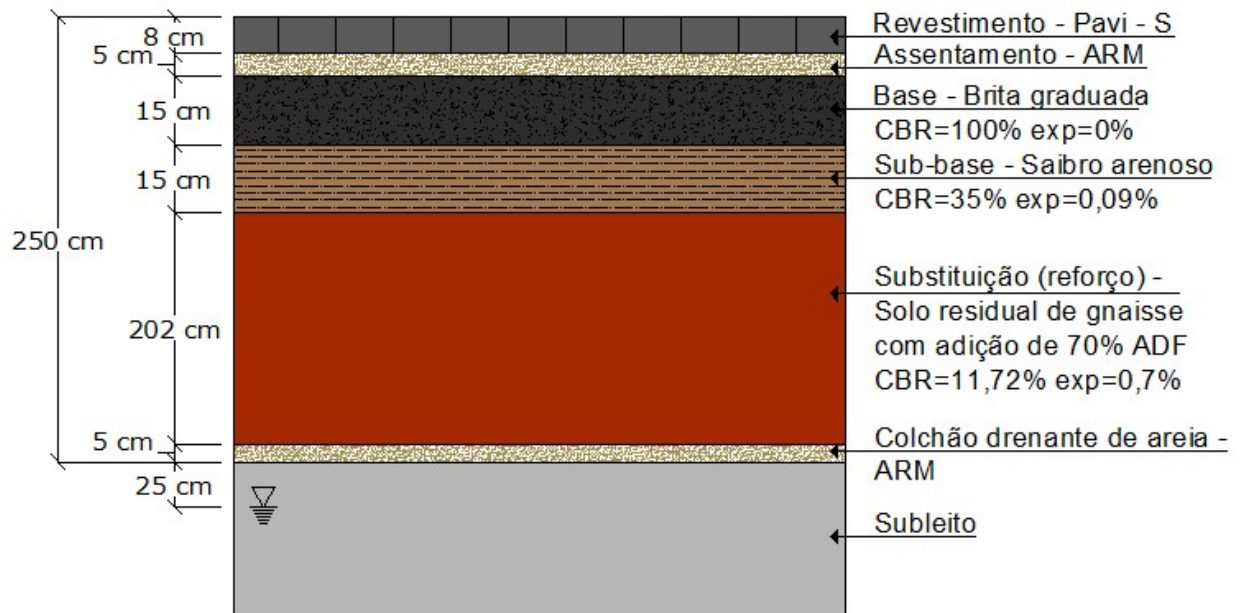
Entre a camada de substituição e o subleito deverá ser executado um colchão drenante de areia, que segundo o DER/PR (2005), é a camada executada com areia, aplicada diretamente sobre o terreno de fundação, o subleito, composto por material saturado e de baixa resistência ao cisalhamento. Em virtude da presença de água no subleito a partir de 2,75 m de profundidade, a camada de colchão drenante de areia visa impedir a capilaridade, ou seja, evitar a percolação de água ascendente às camadas acima. Para esta camada foi adotado o mesmo material da camada de assentamento, a ARM, com uma espessura de 5 cm, pós compactação.

Para a camada de sub-base a norma do DNIT 139/2010 – Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente, especifica que o material deve possuir $CBR \geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$. Quando compactado na energia intermediária o saibro arenoso atinge valores de CBR igual a 35% e expansão 0,09%, atendendo as especificações da norma. Sendo assim, o saibro arenoso compactado na energia intermediária será utilizado para composição da camada de sub-base. A espessura da sub-base foi definida pelo ábaco de Carvalho (1998) presente na Figura 6, resultando em um valor de 15 cm, valor correspondente à espessura mínima especificada.

A brita graduada atendeu aos requisitos descritos pelo DER/SP (2005) para ser utilizada como camada de base, conforme já comentado anteriormente. Com CBR de 100% e expansão igual a 0%, a camada de base será de 15 cm, definida utilizando as condições para o dimensionamento de pavimentos de concreto asfálticos, segundo o DNIT (2006a).

A estrutura final do pavimento intertravado, com a especificação dos materiais utilizados e as espessuras de cada camada, pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Estrutura final do pavimento intertravado.



Fonte: Autora (2016).

4.3. DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO RÍGIDO

Para o dimensionamento do pavimento rígido foi utilizado o método da PCA de 1984, no qual os parâmetros de composição do método são fadiga e erosão.

Como já mencionado, a placa de concreto exerce a função de revestimento e base, dividindo o pavimento em 3 camadas: revestimento, sub-base e reforço do subleito.

4.3.1. Reforço do subleito

Assim como no pavimento intertravado, o reforço do subleito será considerado como a própria substituição de parte do material do subleito, composta de solo residual de gnaisse, siltoso e com adição de 70% de ADF, resultado um CBR de 11,72% e expansão de 0,7%. Da mesma forma, no pavimento rígido será escavado 2,50 metros do material existente, sendo preenchido em 5 cm com um colchão drenante de areia, a seguir com o solo de substituição, e posteriormente com as outras camadas de sub-base e revestimento.

4.3.2. Sub-base

O DNIT (2005) recomenda que o material da sub-base atenda alguns requisitos para evitar a ocorrência do bombeamento, são eles: dimensão máxima do agregado igual ou inferior a 1/5 da espessura da camada; porcentagem do material passante na peneira ABNT 0,075 mm deve ser menor ou igual a 35%; índice de plasticidade (IP) menor ou igual a 6%; limite de liquidez (LL) máximo de 25%.

O material utilizado na sub-base do pavimento intertravado, saibro arenoso, compactado na energia intermediária, com CBR igual a 35% e expansão de 0,09%, atende as recomendações acima descritas, dessa forma, será considerado para toda a sub-base do pavimento.

Para sub-bases granulares não tratadas, as espessuras podem variar entre 15 cm e 40 cm. Valores mais altos são utilizados quando o pavimento é submetido a cargas elevadas sobre fundação mole (DNIT, 2005). Nesse caso, uma camada de 20 cm é considerada suficiente para garantir qualidade e integridade ao pavimento.

4.3.3. Revestimento

Para determinar a espessura da camada de concreto de cimento Portland é necessária a determinação de algumas características do sistema. Segundo o método PCA-84, os parâmetros para o cálculo são os seguintes:

- Resistência a tração na flexão do concreto: 4,5 MPa (BARRA e LIMA JR, 2001);
- Coeficiente de recalque (k) no topo da sub-base: é obtido em função da espessura adotada na sub-base e do CBR do subleito. Neste caso, o CBR do subleito é demasiado baixo, motivo pelo qual foi considerado uma substituição de parte do subleito, que pode ser considerado como um reforço, e assim, adota-se o CBR do reforço, sendo 12%. Com o valor do CBR e a espessura da sub-base de 20 cm, é possível determinar o coeficiente de recalque, igual a 69 MPa/m, utilizando a Tabela 12.

Tabela 12 - Aumento de k devido à presença de sub-base granular.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a (cm)			
CBR (%)	K (MPa/m)	10	15	20	30
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88

Fonte: Pitta (1998b, p. 14).

- Fator de segurança para as cargas (FSC): são considerados no dimensionamento da espessura das placas. Para este projeto foi adotado o fator de segurança de 1,1, conforme Tabela 13, pois o terminal será submetido a um tráfego moderado de ônibus.

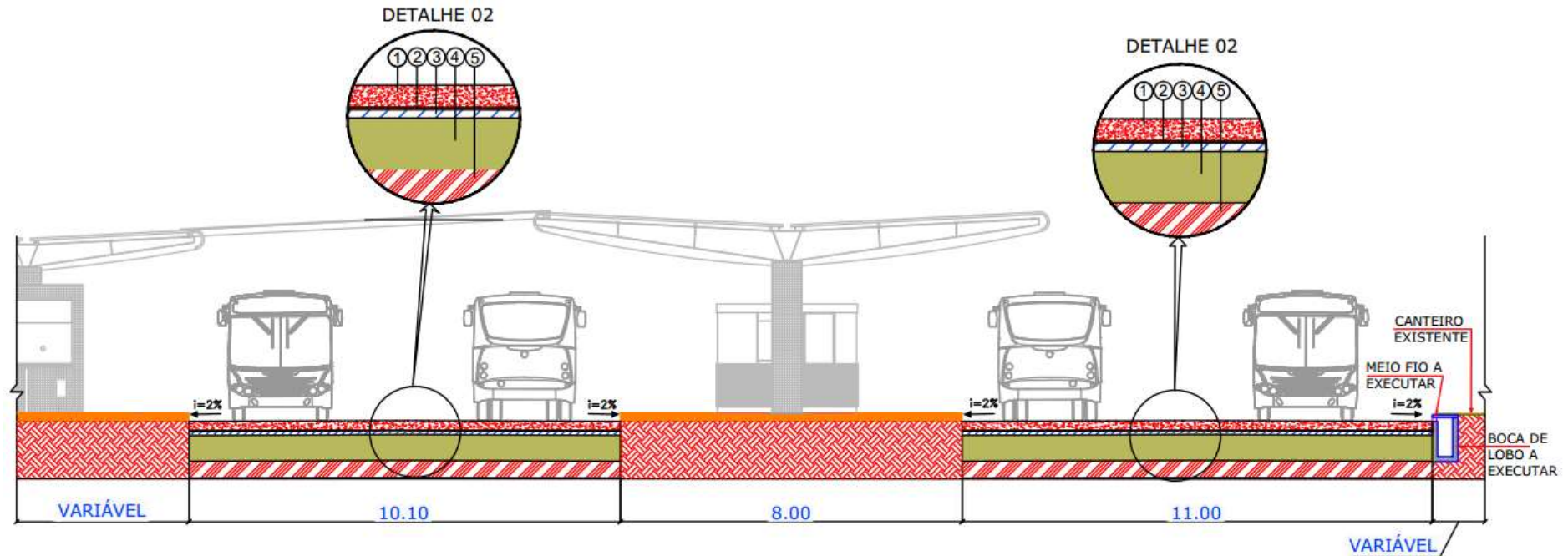
Tabela 13 - Fatores de segurança para as cargas.

Tipo de Pavimento	FSC
Para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1
Para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
Para altos volumes de caminhões	1,2
Pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: DNIT (2005, p. 95).

- Tipo de acostamento: não será utilizado acostamento, pois o pavimento será confinado pelas plataformas e canteiro, conforme Figura 28, que apresenta um perfil do Terminal Universitário elaborado pelo IPPUJ.

Figura 28 – Perfil de pavimentação do Terminal Universitário.



CONVENÇÕES DETALHE 02		ESPESSURA
1	PLACA DE CONCRETO SIMPLES - $f_{ctMk}=4,5$ MPa COM FIBRA DE POLIPROPILENO	0,22m
2	PINTURA DE LIGAÇÃO SOBRE O CCR	
3	BASE DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO - CCR	0,10m
4	SUB-BASE MACADAME SECO (RACHÃO)	0,60m
5	REFORÇO DO SUB-LEITO COM AREIA	0,40m

Fonte: IPPUJ (2016)

- Tráfego previsto: número $N = 4,82 \times 10^6$. Além do número N , é necessário saber o número de solicitações previstas, que é calculado da seguinte forma:

$$N^{\circ} \text{ de solicitações} = Vm \times p \times t \quad (6)$$

Sendo:

Vm = volume médio diário no primeiro ano;

p = período de projeto;

t = taxa de crescimento aritmético.

O volume médio diário no primeiro ano é igual a 374 veículos/dia, e o período de projeto e taxa de crescimento são, respectivamente, iguais a 30 anos e 1,60%, como já citado. Resultando assim, em um número de solicitações igual a: 17.952 repetições.

Com os parâmetros definidos, pode-se determinar a espessura da placa de concreto. Para isso foram testadas algumas espessuras afim de escolher a que melhor se comporta, considerando o consumo de fadiga e de erosão. Os resultados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Dimensionamento do revestimento do pavimento de concreto.

Espessura (cm)	TE	FF	FE	N° Repetições previstas	N° de Repetições Admissíveis		Consumo Fadiga (%)	Consumo de Erosão (%)
					Fadiga	Erosão		
14	2,76	0,61	3,29	17952	$3,6 \times 10^3$	$4,4 \times 10^5$	498,67	4,08
15	2,51	0,56	3,20	17952	$1,95 \times 10^4$	$7,5 \times 10^5$	92,06	2,39
16	2,296	0,51	3,11	17952	$8,5 \times 10^4$	$1,4 \times 10^6$	21,12	1,28
17	2,11	0,47	3,03	17952	$2,4 \times 10^5$	$2,8 \times 10^6$	7,48	0,64
18	1,945	0,43	2,96	17952	$1,8 \times 10^6$	$3,6 \times 10^6$	1,00	0,50
19	1,805	0,40	2,89	17952	ilimitado	$6,5 \times 10^6$	-	0,28
20	1,684	0,37	2,82	17952	ilimitado	$1,1 \times 10^7$	-	0,16

TE – Tensão equivalente

FF – Fator de fadiga

FE – fator de erosão

Fonte: Autora (2016).

As diretrizes para alcançar os resultados da Tabela 14 são descritas a seguir, para isso, adotou-se a espessura da placa de concreto de 16 cm.

- Tensão equivalente: para determinar a tensão equivalente para cada espessura, foi utilizado a Tabela A.1 dos anexos. Esta é empregada pois o pavimento não terá acostamento. O coeficiente de recalque é igual a 69 MPa/m, sendo necessário realizar uma interpolação, como apresentado na equação (7):

$$\frac{80-60}{80-69} = \frac{2,23-2,35}{2,23-TE} \Rightarrow TE = 2,296 \text{ MPa} \quad (7)$$

- Fator de Fadiga: é determinado pela divisão da tensão equivalente encontrada pela resistência a tração na flexão do concreto, conforme equação (8):

$$FF = \frac{2,296}{4,5} \Rightarrow FF = 0,51 \quad (8)$$

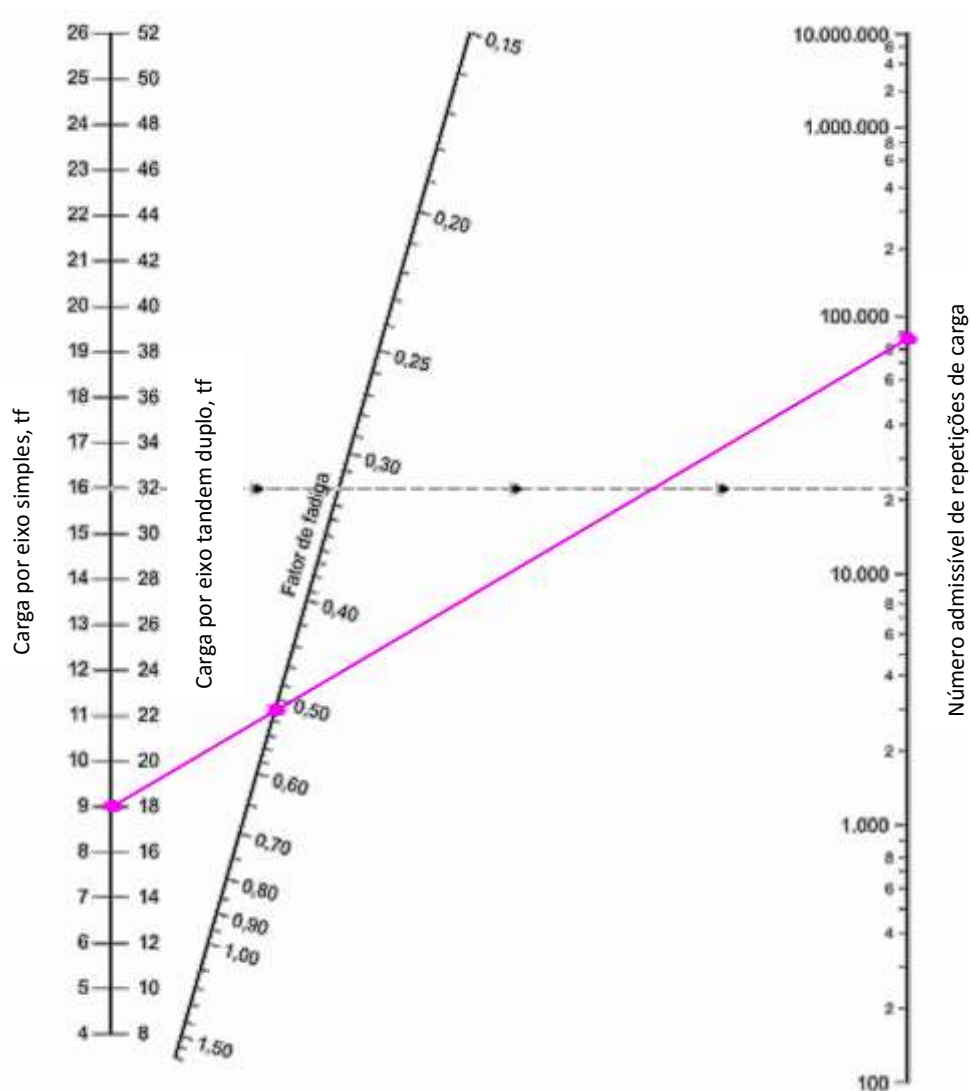
- Fator de Erosão: é estabelecido empregando a Tabela A.2 dos anexos, que é aplicada em Eixo Simples com: junta sem barras de transferência e pavimento sem acostamento. Para este caso também é necessário interpolar os resultados, como pode ser observado na equação (9):

$$\frac{80-60}{80-69} = \frac{3,10-3,12}{3,10-TE} \Rightarrow FE = 3,11 \text{ MPa} \quad (9)$$

Nota: O método da PCA-84 apresenta falha na Tabela A.2 dos anexos, que é utilizada para determinar o fator de erosão para eixos simples e tandem duplos, o DNIT (2005) apresenta a tabela para utilização em casos de juntas sem barras de transferência, porém, consultando outras literaturas que não são oficiais e por isso não citadas, a mesma tabela é utilizada para juntas com barras de transferência.

- Número de repetições admissíveis: para determiná-lo é necessário utilizar ábacos, no qual é traçada uma reta iniciando no valor da carga por eixo, esta multiplicada pelo fator de segurança, passando pelo fator de fadiga e continuando até alcançar o número admissível de repetições. A Figura 29 representa o traçado para a análise da fadiga sobre o ábaco do DNIT (2005), resultando em um valor de: $8,5 \times 10^4$ repetições.

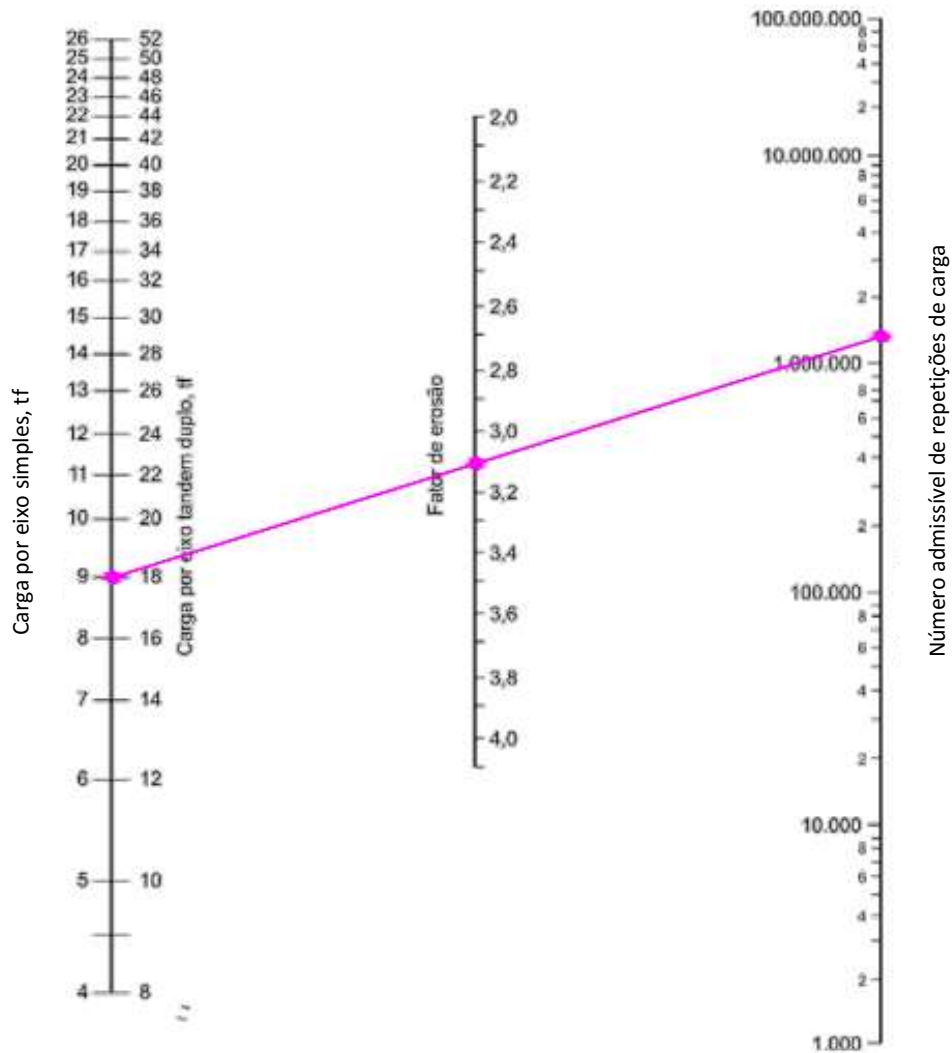
Figura 29 - Análise de Fadiga - Número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga, para uma espessura da placa de concreto de 16 cm.



Fonte: DNIT (2005, p. 113).

Para as repetições admissíveis aplicando o fator de erosão utiliza-se outro ábaco, também do DNIT (2005), conforme mostrado na Figura 30, onde resultou em um valor de $1,4 \times 10^6$ repetições.

Figura 30 - Análise de Erosão - Número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto), para uma espessura da placa de concreto de 16 cm.



Fonte: DNIT (2005, p. 114).

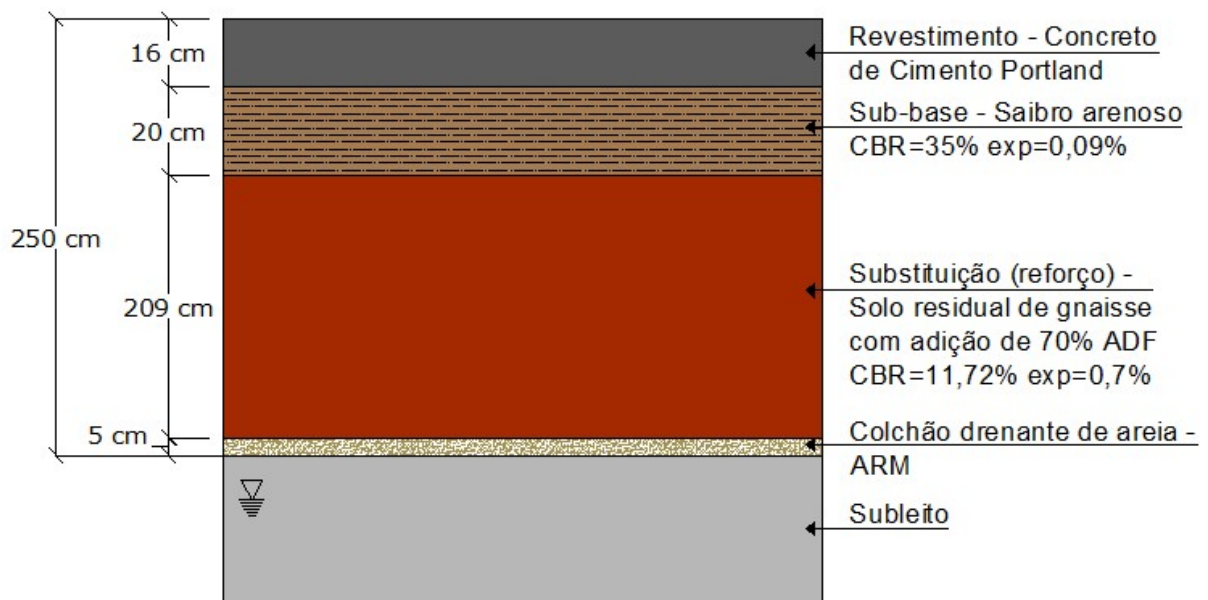
- Consumo: é encontrado através da razão do número de repetições prevista pelo número de repetições admissíveis para cada espessura da placa de concreto, apresentado nas equações (10) e (11).

$$\text{consumo de fadiga} = \frac{17.952}{8,5 \times 10^4} = 0,2112 \times 100 = 21,12 \% \quad (10)$$

$$\text{consumo de erosão} = \frac{17.952}{1,4 \times 10^6} = 0,0128 \times 100 = 1,28 \% \quad (11)$$

Com o consumo determinado, pode-se definir a espessura ideal. As condições estão satisfeitas quando o resultado final do consumo de fadiga e dano por erosão não ultrapassam 100%. Quando estes apresentam valores perto ou igual a zero, o pavimento está superdimensionado (DNIT, 2005). Observando os resultados da Tabela 14 constata-se que a espessura de 15 cm atende os requisitos, porém, o consumo de fadiga está perto do limite de 100%, então, por questão de segurança, a espessura adotada para o pavimento será de 16 cm. A Figura 31 apresenta a estrutura final do pavimento rígido, com todas as camadas e suas respectivas espessuras e materiais empregados.

Figura 31 - Estrutura final do pavimento rígido.



Fonte: Autora (2016).

4.4. DIMENSIONAMENTO DAS JUNTAS

Conforme descrito anteriormente, juntas são seções de indução ao trincamento e serão empregadas para o controle de fissuras na placa de concreto. São os pontos fracos dos pavimentos de concreto e requerem precauções e precisão tanto no projeto, quanto na execução na obra.

Devido à largura e comprimento do pavimento de concreto, será necessário a execução de juntas transversais e longitudinais.

4.4.1. Juntas transversais

Para as juntas transversais recomenda-se uma distância máxima de 6m entre elas, porém, o ideal é que em nenhuma hipótese a mesma placa de concreto suporte mais que um eixo do ônibus, para não sobrecarregar a mesma e causar danos ao pavimento. Segundo informações cedidas pelas empresas responsáveis pelo transporte público de Joinville, a distância entre eixos dos veículos considerados para o terminal é de 5,5 metros. Respeitando a distância máxima entre juntas e a hipótese de nenhuma placa suportar mais de um eixo, foi considerado uma distância de 3,5 metros entre as juntas transversais.

A adoção de barras de transferência de carga nas juntas transversais é justificada pelo tráfego pesado que o pavimento irá receber, necessitando das barras para distribuir as cargas, transferindo uma parcela da carga para placa seguinte. Conforme já citado, as barras de transferência de carga devem ser lisas e com metade da barra mais 2 cm pintada e engraxada, e o engraxamento das barras deve ser no sentido do fluxo, ou seja, a metade engraxada deve ser na placa seguinte, a que receberá os esforços da anterior. As barras são de aço CA-25, com uma bitola de 20mm, comprimento de 46 cm e espaçadas em 30 cm, conforme as especificações da Tabela 15.

Tabela 15 – Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência (Barras lisas - Aço CA-25).

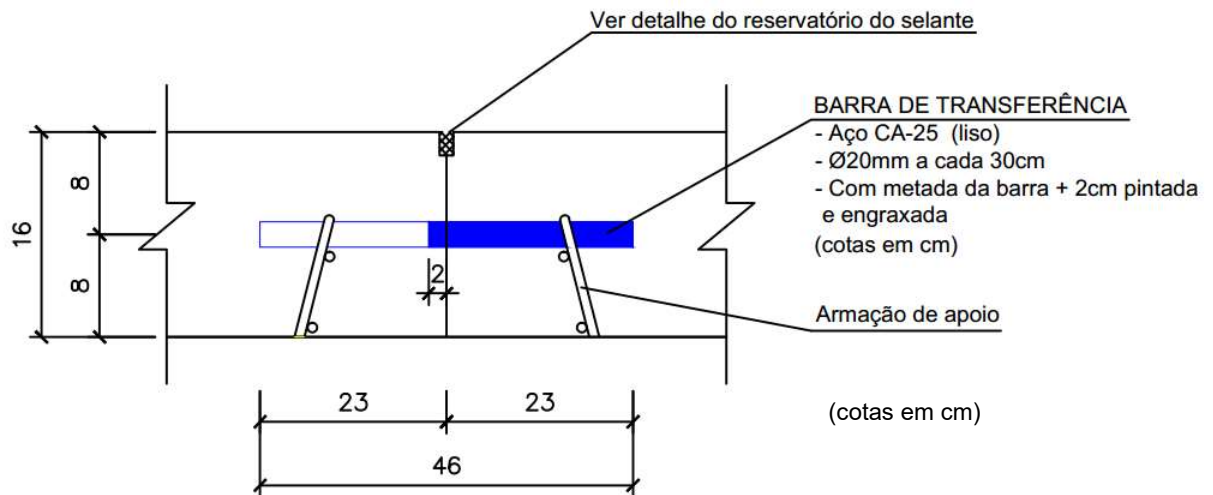
Espessura da placa (cm)	Diâmetro ϕ (mm)	Comprimento (mm)	Espaçamento (mm)
até 17,0	20	460	300
17,5 - 22,0	25	460	300
22,5 - 30,0	32	460	300
> 30,0	40	460	300

Fonte: DNIT (2005, p. 157).

O detalhamento das juntas transversais pode ser observado na Figura 32, que foi ilustrada conforme as especificações adotadas. As barras de transferência devem ser colocadas no centro da placa de concreto com o auxílio de uma armação de apoio, sem função estrutural e chamada de caranguejos, que devem ser fixados com grampos metálicos à fundação, de modo que permaneçam firmes e não ocorra

o deslocamento da estrutura quando das operações de lançamento, espalhamento e adensamento do concreto.

Figura 32 - Detalhe da junta transversal com barras de transferência.

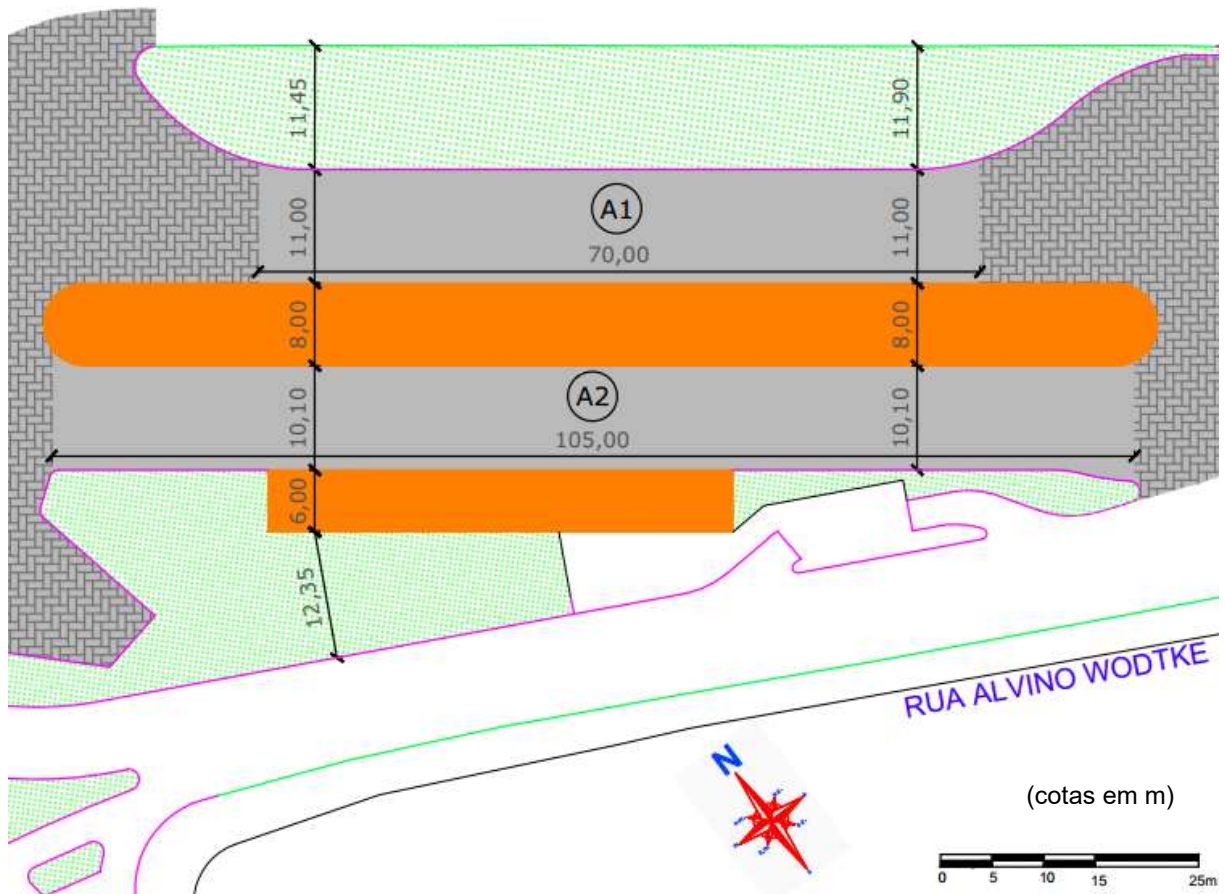


Fonte: Autora (2016).

4.4.2. Juntas longitudinais

O pavimento rígido será dividido em duas partes com largura e comprimento distintos, como pode ser observado na Figura 33. Para as juntas transversais é possível manter a distância entre as juntas de 3,5 m para ambas as partes, porém, para as juntas longitudinais não é possível seguir o mesmo padrão, sendo necessário analisar cada caso separadamente.

Figura 33 - Dimensões do pavimento rígido.



Fonte: Autora (2016).

O ideal é projetar as juntas longitudinais de modo que as larguras das placas sejam iguais, respeitando a largura máxima de 3,75 metros recomendada por PITTA (1998a) e DNIT (2005). Ainda segundo o DNIT (2005), verificou-se em pavimentos de concreto com juntas longitudinais que, o aparecimento de fissuras se dá quando a largura da placa é um valor igual ou superior entre 3,65 m e 4,90 m. Então, o autor sugere um espaçamento adequado entre 3,5 m a 3,6 m.

A área A1 dispõe uma largura de 11 metros, dividindo esta largura em 3, obtemos o espaçamento das juntas longitudinais em: 3,66 m, 3,67 m e 3,67 m, pouco acima do valor máximo recomendado. Para a área A2 a largura é menor, de 10,10 m, se dividir em duas placas, a distância entre cada junta fica em 5,05 m, resultando em uma largura acima do limite recomendado e sujeita ao aparecimento de fissuras longitudinais. Para evitar as fissuras, adota-se espaçamentos de: 3,36 m, 3,37 m e 3,37 m.

Devido às movimentações dos ônibus na chegada e saída da plataforma, são necessárias barras de ligação para evitar movimentos laterais das placas de concreto. As barras são de aço CA-50, e o diâmetro e o comprimento são determinados utilizando as equações (12) e (13) de Pitta (1998a):

$$A_s = \frac{b \times f \times \gamma_c \times h}{100 \times S} \quad (12)$$

Onde:

A_s = área de aço necessária por metro de comprimento da junta considerada, cm^2/m ;

b = distância entre a junta considerada e a junta ou borda livre mais próxima dela, m;

f = coeficiente de resistência entre a placa e o subleito ou sub-base, geralmente tomado como 1,5;

γ_c = peso específico do concreto, igual a 24.000 N/m^3 ;

h = espessura da placa, m;

S = tensão admissível no aço, em geral $2/3$ da tensão de escoamento, MPa.

$$l = \frac{1}{2} \left(\frac{S \times d}{\tau_b} \right) + 7,5 \quad (13)$$

Onde:

l = comprimento de uma barra de ligação, cm;

d = diâmetro da barra de ligação, cm;

τ_b = tensão de aderência entre o aço e o concreto, em geral tomado igual a 2,45 MPa;

7,5 = margem para prever possível descentralização da barra, cm.

Nota: Não consta o termo "1/2" na equação para determinar o comprimento de uma barra de ligação (13) na publicação do DNIT (2005).

Resolvendo a equação (12), é possível determinar a bitola da barra de ligação para A1 e A2 respectivamente, conforme as equações (14) e (15).

$$A_{s,A1} = \frac{3,67 \times 1,5 \times 24000 \times 0,16}{100 \times \frac{2}{3} \times 500} = 0,63 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow d = 8,9 \text{ mm} \quad (14)$$

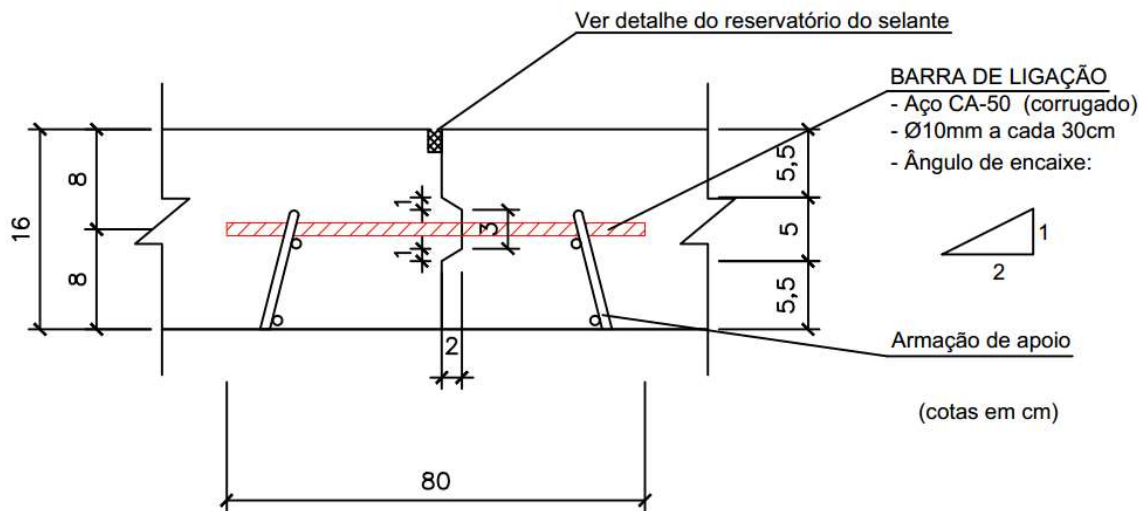
$$A_{s,A2} = \frac{3,37 \times 1,5 \times 24000 \times 0,16}{100 \times \frac{2}{3} \times 500} = 0,58 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow d = 8,6 \text{ mm} \quad (15)$$

Utilizando diâmetros comerciais, adota-se uma bitola de 10 mm para as barras de ligação de ambos os casos. Com isso, é possível definir o comprimento das barras de ligação, como observado na equação (16).

$$l = \frac{1}{2} \left(\frac{\left(\frac{2}{3} \times 500 \right) \times 1}{2,45} \right) + 7,5 = 75,53 \text{ cm} \equiv 80 \text{ cm} \quad (16)$$

Então, o comprimento das barras de ligação será de 80 cm e espaçadas a cada 30 cm, como pode ser observado na Figura 34. Da mesma forma, as barras de ligação serão fixadas no centro da placa de concreto com o auxílio de uma armação de apoio.

Figura 34 - Detalhe da junta longitudinal com barras de ligação.



Fonte: Autora (2016).

Foi adotado para as juntas longitudinais o encaixe (macho-fêmea), conforme detalhado na Figura 34, para um melhor desempenho da junta e possibilidade de execução de uma faixa por vez. Devido a espessura da placa, as dimensões de encaixe recomendadas pelo DNIT (2005) não foram aplicadas a junta longitudinal,

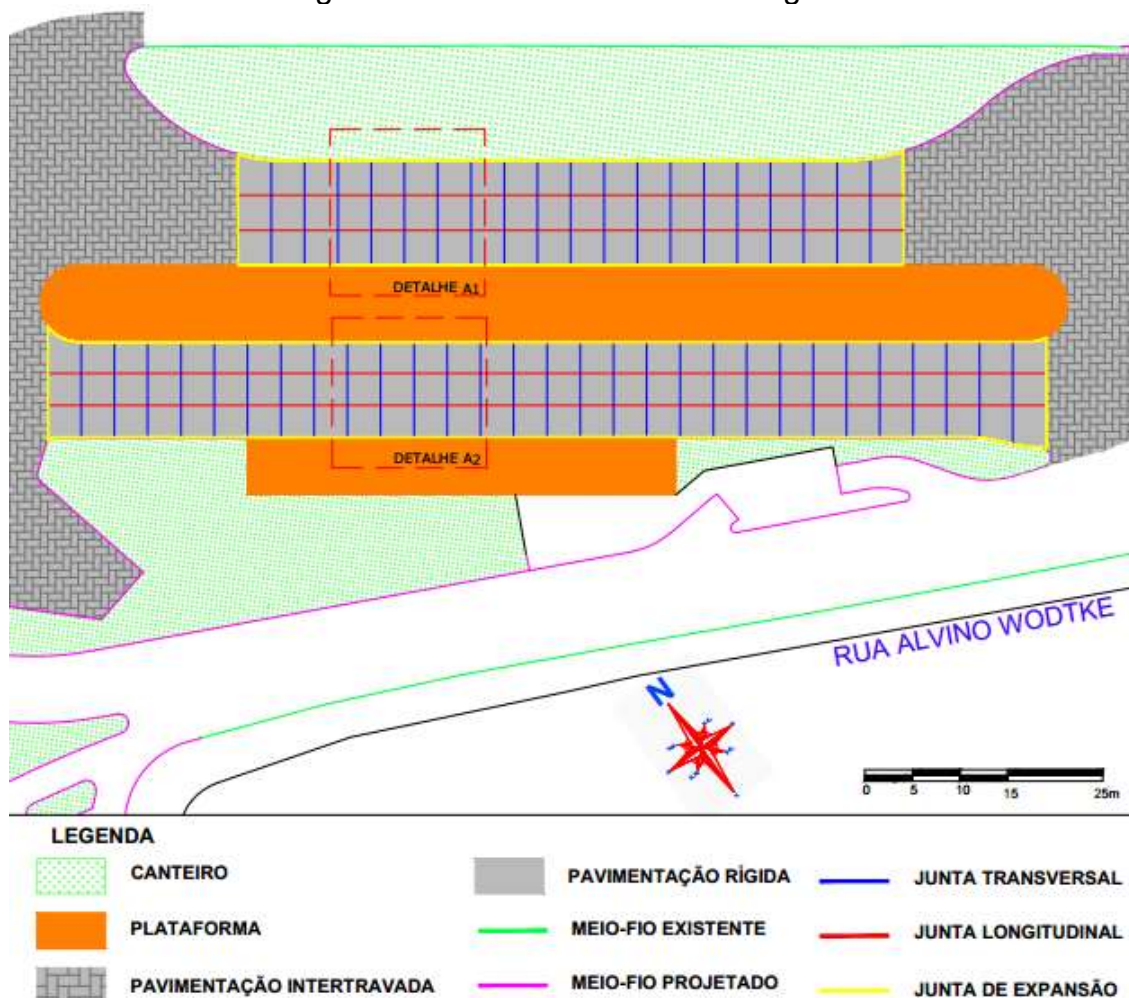
pois os valores são próximos do diâmetro das barras, sendo estes valores adaptados.

4.4.3. Juntas de encontro

Deverão ser executadas juntas de encontro em torno de todo o pavimento rígido, pois possuem encontro com as plataformas, meio-fio e com o pavimento intertravado, como pode ser observado na Figura 35. As juntas de encontro não possuem barras de transferência de carga, pois poderiam forçar a ocorrência de trincas, impedindo sua movimentação, principalmente por causa da retração volumétrica do concreto a noite.

A planta do pavimento rígido com a locação das juntas pode ser observada na Figura 35.

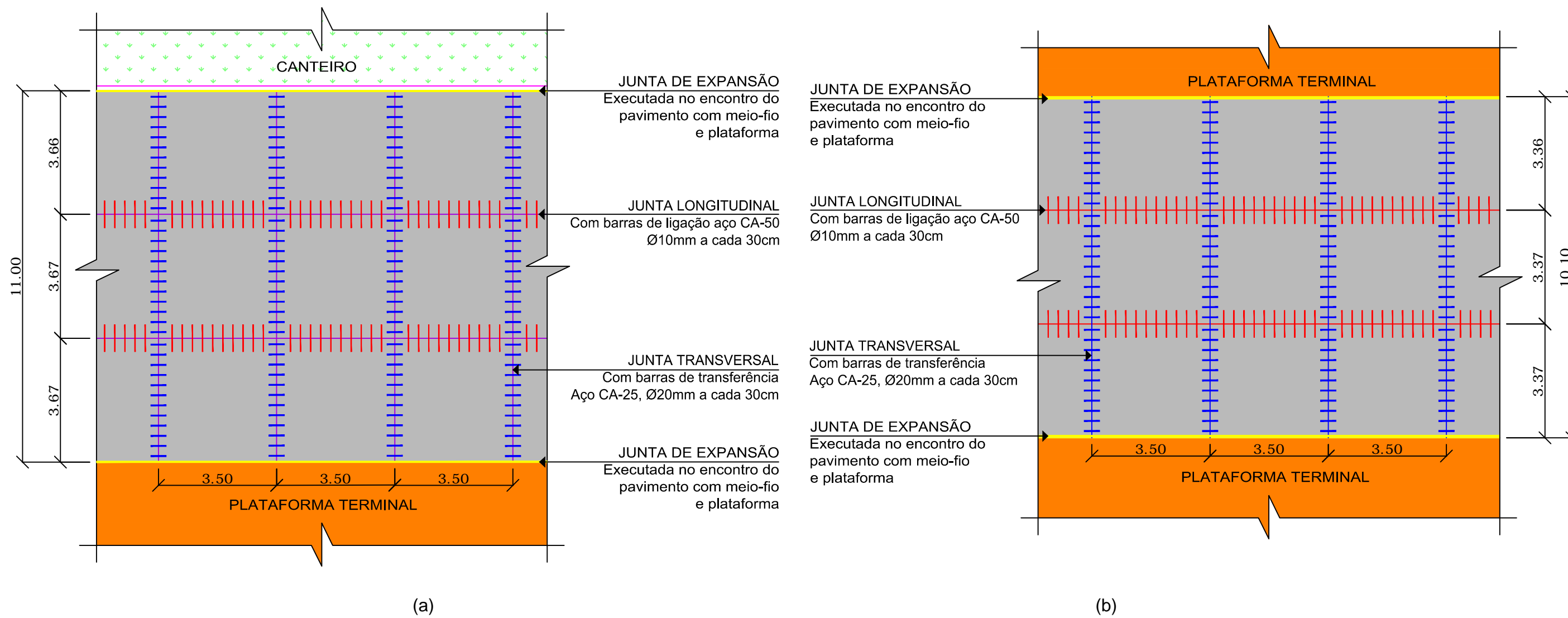
Figura 35 – Planta do Pavimento rígido.



Fonte: Autora (2016).

Plano de detalhe da seção transversal do meio-fio e plataforma terminal.

Plano de detalhe da seção transversal da plataforma terminal.



(cotas em m)
Escala: 1/125

Fonte: Autora (2016).

4.4.4. Selante das juntas

Os selantes para juntas são divididos em selantes vazados no local, que podem ser a quente ou a frio, e selantes pré-moldados.

Os selantes vazados a quente não são recomendados para vedação de juntas nos pavimentos rígidos, devido à dificuldade de aplicação, pois possui uma elevada temperatura de serviço, acima de 100°C, e baixa durabilidade, que requer manutenção a cada 2-4 anos (ABCP, 2016b; PITTA, 1998a).

Caracterizados por serem aplicados em temperatura ambiente, os selantes vazados a frio são os asfaltos diluídos, as emulsões asfálticas e os elastômeros, conhecidos como mástiques elásticos (PITTA, 1998a). Segundo a ABCP (2016b), os selantes a frio possuem um custo inicial maior que os selantes a quente, porém, este custo é compensado com a baixa necessidade de manutenção e conservação.

Ainda conforme a ABCP (2016b), os selantes pré-moldados proporcionam uma competitividade em relação ao selante a frio, em razão do custo, maior vida de serviço e por apresentar perfis fabricados com menores espessuras. Possui fácil instalação e podem ser poliuretanos, do tipo neoprene, de borracha esponjosa, de cortiça, entre outros (PITTA, 1998a).

Dessa forma, foi adotado uma emulsão asfáltica de ruptura rápida RR-1C para as juntas transversais e longitudinais, caracterizada como selante vazado a frio. A adoção da emulsão tem por objetivo proporcionar um comportamento viscoelástico à estrutura das juntas, capaz de resistir aos esforços cortantes existentes entre as placas, bem como de retração térmica no transcurso da vida útil do pavimento, sem que ocorram trincamentos. Caso ocorra a utilização de um retardador de pega no concreto, recomenda-se a utilização de um selante com uma viscosidade maior, como o RR-2C.

Para garantir que não ocorra o vazamento da emulsão para as outras camadas, foi empregado um perfil com madeira acácia, por ser uma madeira durável, resistente, fácil de trabalhar, flexível e que não transmite calor. E como material compressível foi escolhido a corda de juta, por ser uma das fibras vegetais mais fortes e ser leve (SILVA, 2011).

Para o dimensionamento do reservatório do selante das juntas transversais, foi seguido os fatores de forma recomendados pelo DNIT (2005). A Tabela 16 fornece os valores para selantes vazados no local.

Tabela 16 – Fatores de forma recomendados para selantes vasados no local.

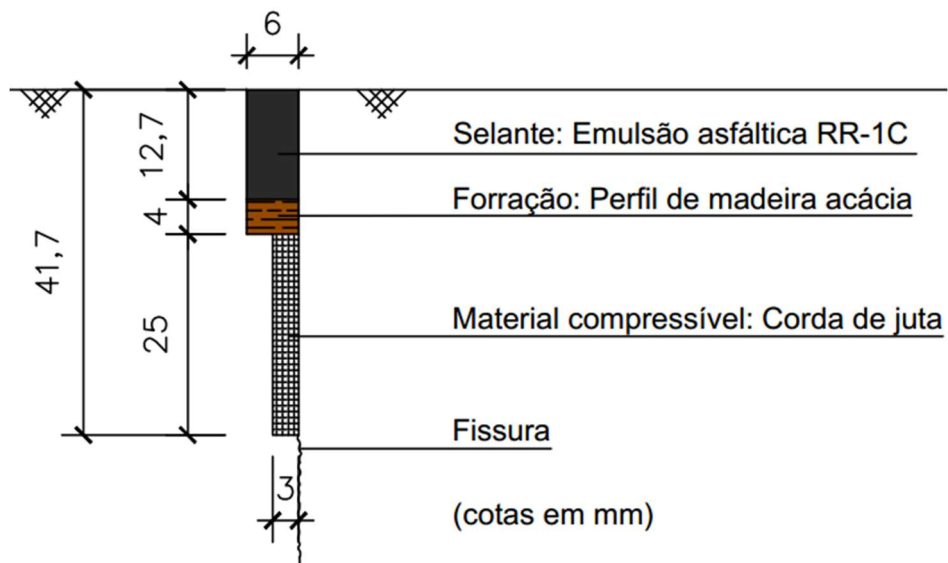
Espaçamento entre juntas transversais (m)	Reservatório do selante	
	Largura (mm)	Profundidade (mm)
4,5	3	12,7 (mín.)
6	6	12,7 (mín.)
7,5	10	12,7 (mín.)
12	12,7	12,7 (mín.)

Fonte: DNIT (2005, p. 166).

A profundidade do reservatório para as juntas transversais foi definida como 12,7 mm, o mínimo recomendado. Para o perfil de madeira acácia foi adotado uma espessura de 4 mm, valor superior ao recomendado pelo DNIT (entre 2 a 3 mm), entretanto, esse valor é justificado para garantir espaço suficiente para colocação do perfil de acácia e o confinamento do selante. Já a profundidade da ranhura deve ser no mínimo 1/4 da espessura da placa ou igual a 40 mm, adotando o valor de 41,7 mm para o presente trabalho.

Para a largura recomenda-se 3 mm, porém, esta largura foi adotada para a ranhura, com isso, adotou uma largura de 6 mm que proporciona a ancoragem do perfil de madeira. A Figura 37 ilustra o detalhe do reservatório das juntas transversais, com as dimensões e materiais adotados.

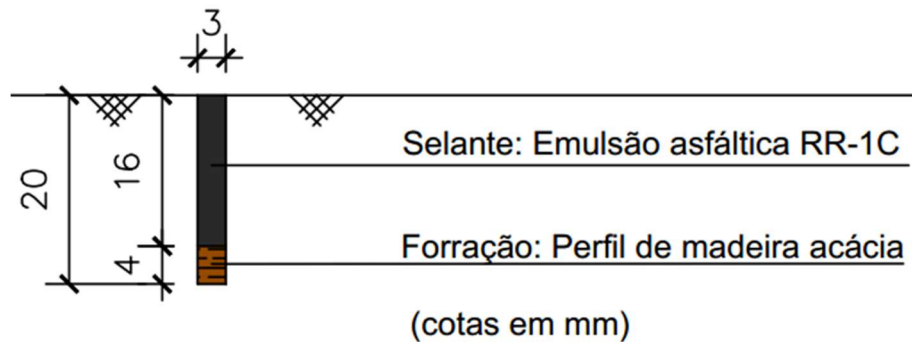
Figura 37 – Detalhe do reservatório do selante nas juntas transversais.



Fonte: Autora (2016).

Em virtude da escolha do encaixe nas juntas longitudinais, o corte será realizado apenas para conformação do reservatório do selante, com uma profundidade de 20 mm, sendo 4 mm para o perfil de madeira acácia, e 16 mm para preenchimento com selante. O detalhamento do reservatório está apresentado na Figura 38.

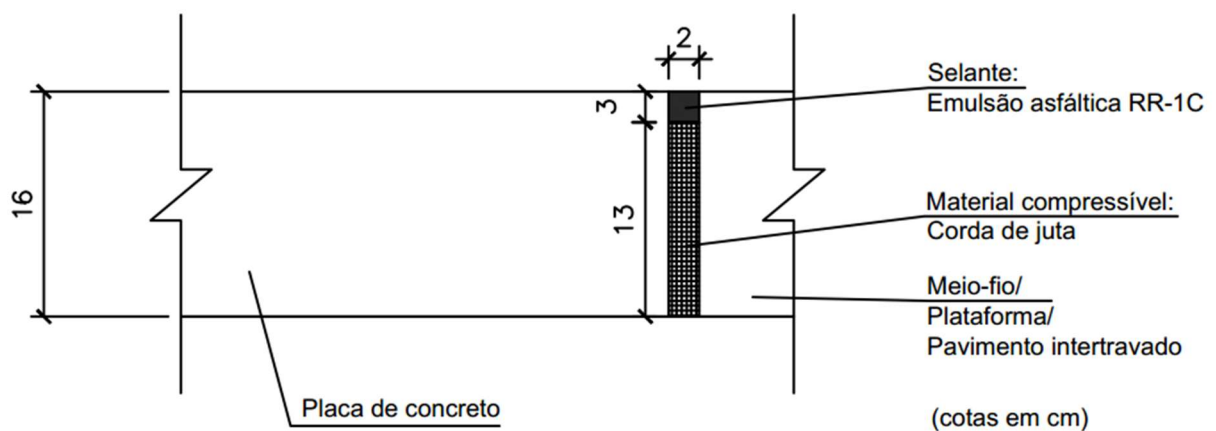
Figura 38 - Detalhe do reservatório do selante nas juntas longitudinais.



Fonte: Autora (2016).

Na selagem das juntas de encontro será utilizado a emulsão asfáltica RR-1C, e corda de juta como material compressível. As dimensões adotadas seguem o recomendado no capítulo 2, com profundidade do selante de 3 cm e largura de 2 cm. A Figura 39 apresenta o detalhamento da junta de encontro.

Figura 39 - Detalhe da junta de encontro.



Fonte: Autora (2016).

O corte do reservatório para as juntas transversais e longitudinais será feito com serra de disco diamantado. No entanto, as juntas de expansão não envolvem operação de corte e são estabelecidas à frente do ponto de concretagem. A parte inferior da junta de expansão deve ser preenchida com material compressível, de modo a assentar o fundo, e o reservatório do selante será moldado com o uso de uma peça adicional que deverá ficar nivelado com a superfície final do pavimento.

Na execução das juntas deverão ser tomados alguns cuidados, como evitar que o corte seja executado com o concreto ainda verde (nas primeiras horas de cura), causando esborcinamento da junta (ver Figura 40), e soltura de partículas do agregado, entretanto, o corte tardio pode causar a ocorrência de fissuras por retração hidráulica. Após o corte deverá ser feita a limpeza das juntas, pois a selagem só pode ocorrer com as juntas sãs, limpas e secas (ABCP, 2016b).

Figura 40 – Junta esborcinada.



Fonte: ABCP (2016b, p. 8).

Quando ocorrer o esborcinamento das juntas, é necessário realizar a sua recuperação antes da execução da selagem. A operação de selagem das juntas deve ser efetuada nos períodos mais frios do dia, em que o concreto está mais retraído e as juntas mais abertas, assegurando o enchimento necessário de selante (ABCP, 2016b).

Na Figura 40 é possível observar também, a texturização do revestimento. A texturização consiste na execução de ranhuras na superfície do pavimento, com a finalidade de aumentar a aderência entre a superfície do contato pneu-pavimento, e

deve ser realizada sempre antes da ocorrência do início da pega do concreto (solidificação da mistura fresca), e conseqüentemente antes da execução das juntas. No terminal deverá ser executada de maneira transversal em relação a plataforma, pois produz maiores coeficientes de atrito quando comparada a texturização longitudinal.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A contribuição deste trabalho para a elaboração do projeto de pavimentação do Terminal Universitário, que será construído na zona norte de Joinville-SC, cumpriu com os objetivos propostos.

Com a escavação e coleta de material do subleito da região onde o terminal será construído, pôde-se constatar um material de baixo suporte, sendo necessária a realização da substituição de parte do material por um de melhor qualidade e capacidade de suporte, a fim de evitar a perda da estanqueidade da estrutura.

A adoção da areia descartada de fundição (ADF) para composição do material de substituição do subleito e das peças pré-moldadas de concreto, bem como da areia reciclada mista (ARM) para constituição da camada de assentamento das peças pré-moldadas de concreto (PPC) e do colchão de areia drenante, além de atenderem aos requisitos e normas dos materiais para cada camada, contribuem para a preservação do meio ambiente, diminuindo a poluição, reduzindo a utilização de recursos naturais e reduzindo a necessidade de aterros sanitários para descarte destes materiais.

Mesmo os volumes substituídos do solo local, tornam a solução proposta possível de ser utilizada, pois não é necessário dispor de uma extensa área de botafora para alocar o material escavado, bem como apenas 30% de solo de jazida precisará ser removido das condições naturais, pois 70% da composição da camada de reforço é proveniente de ADF, que constitui resíduo industrial atualmente sem destinação em larga escala para reaproveitamento.

Além disso, as PPC estudadas com ADF na sua composição, podem ser obtidas através de uma parceria da empresa fornecedora com a Prefeitura Municipal de Joinville, gerando benefícios a ambas, principalmente à Prefeitura com a redução de custos da obra.

Com relação aos métodos de dimensionamento do pavimento, identificou-se grande empirismo em suas propostas. O método para dimensionamento do pavimento intertravado da ABCP foi desenvolvido para locais de tráfego leve a meio-leve, gerando dificuldades para dimensionar pavimentos submetidos a tráfego médio, pesados e muito pesados.

No caso do método da PCA-84, tem-se que também apresenta falhas de empirismo, pois foi desenvolvido com base em parâmetros limitados, no qual os ensaios laboratoriais não retratam as solicitações que o pavimento é exposto em campo.

Outro ponto importante diz respeito aos dados fornecidos para o cálculo do número "N", pertinente ao dimensionamento das linhas que irão operar no terminal, bem como a estimativa da frequência de chegadas e partidas dos ônibus. Como as informações obtidas foram incipientes neste momento, tem-se que até a construção do terminal e o início das operações este número pode aumentar, o que ensejará ajustes no projeto proposto neste trabalho.

Mesmo com as dificuldades encontradas no transcurso das atividades, foi possível dimensionar uma estrutura capaz de suportar as cargas solicitantes, de acordo com as metodologias utilizadas, em que as soluções consideradas mostraram-se viáveis para suportar um tráfego com característica meio-pesado a pesado, lento e sujeito a constantes intervenções de manobras na entrada e saída do terminal.

Para trabalhos futuros são recomendados as seguintes abordagens:

- Ampliar os estudos de caracterização geotécnica das ocorrências presentes na Região Metropolitana de Joinville, tanto na busca por novas jazidas potencialmente utilizáveis, quanto no que diz respeito à execução de ensaios capazes de simular as condições reais de aplicação das cargas solicitantes no campo, a fim de que outras soluções de pavimentação possam ser apresentadas para o terminal, tornando-se objeto de comparação ao atual estudo;
- Desenvolver uma dosagem do concreto, com materiais característicos da região de Joinville, para estabelecer uma fonte de aplicação mais direta deste insumo na solução de pavimentação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Daniel Pedroso de. **Solução do projeto de pavimento rígido**: estudo de caso: corredor de ônibus do binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau – Joinville/SC. 2015, 104 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2015.

A NOTÍCIA (Org.). **Frota do transporte coletivo de Joinville ganha novos ônibus**: As concessionárias adquiriram 10 ônibus Marcopolo Viale BRS, de piso baixo, 100% acessíveis. 2013. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2013/06/frota-do-transporte-coletivo-de-joinville-ganha-novos-onibus-4170376.html>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual Técnico para Implementação** – Habitação 1.0. Bairro Saudável. População Saudável. São Paulo: ABCP, 2002a.

_____. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo: ABCP, 2002b. Boletim técnico, vol. 106.

_____. **Manual de Pavimento Intertravado**: Passeio Público. São Paulo: ABCP, 2010.

_____. Curso de Tecnologia de Pavimentos de Concreto. Módulo 2 – Projeto e Dimensionamento dos Pavimentos. **Slides**. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Pavim_Concreto_Apres_Mod02%20ABCP.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2016a.

_____. **Pavimento de Concreto: Abertura e Selagem de Juntas**. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/pr4_pav_concreto.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12307/1991**: Regularização do subleito – Procedimento. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 10004/2004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 9781/2013**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BARRA, Breno Salgado; LIMA JR, Ubbirajara Marques. **Reabilitação de pavimentos flexíveis, utilizando a técnica over-lay ultra-thin Whitetopping pavement** – Pista experimental: Campus da Universidade da Amazônia (UNAMA). Belém, 2001.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos, 2008.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Qual a diferença entre PAC1 e PAC2?**. 22/05/2015. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/servicos/faq/pac-programa-de-aceleracao-do-crescimento/visao-geral/qual-a-diferenca-entre-pac1-e-pac2>>. Acesso em: 30 maio 2016.

CARNIN, Raquel Luísa Pereira *et al.* Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado. **Revista Pavimentação**, Rio de Janeiro, Ano V, p. 56 - 67, out./nov./dez. 2010.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4. ed. São Paulo: ABCP, 1998. Estudos técnicos, vol. 27.

COSTA, Francisco Thárcio Gomes; SILVA, Ben-Hur de Albuquerque e; GUIMARÃES, Antonio Carlos Rodrigues. **Recapeamento asfáltico sobre pavimento rígido**: Estudo de caso da restauração da rodovia BR - 101/PE. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de concreto**: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento. 2003. 281 p. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER/SP). **Sub – Base ou Base de brita graduada**. São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ (DER/PR). **ES-T 05/05**: Terraplenagem: Colchão drenante de areia para fundação de aterro. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER – ME 401/99**: Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – ID_{ML} e sem ligante – ID_M. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de pavimentos rígidos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006a.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **DNIT - ES 139/2010:** Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 2010.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). **Joinville:** Cidade em Dados 2014. Joinville: Prefeitura Municipal, 2014.

_____. Documentação do projeto do Terminal Universitário. 2016.

GIDION. **Sistema de Transporte Público de Passageiros:** Transporte Coletivo Urbano. 2014. Disponível em: < http://www.gidion.com.br/wp-content/uploads/2010/03/Resumo-Sistema-Site2014_Nov14.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

GODINHO, Dalter Pacheco. **Pavimento intertravado:** Uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade. 2009, 157 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Santa Catarina.** Joinville. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420910>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

JOINVILLE. **PAC-2 das Cidades Médias libera R\$ 242 milhões para Joinville.** 06/03/2013. Prefeitura Municipal. Disponível em: <[https://www.joinville.sc.gov.br/noticia/3878-PAC-2+das+Cidades+M%C3%A9dias+libera+R\\$+242+milh%C3%B5es+para+Joinville.html](https://www.joinville.sc.gov.br/noticia/3878-PAC-2+das+Cidades+M%C3%A9dias+libera+R$+242+milh%C3%B5es+para+Joinville.html)>. Acesso em: 20 jun. 2016.

JOINVILLE. **Pesquisa Origem/Destino.** 2010. Vol. III. Pesquisa Ponto de Fluxo. Parte III – Características dos deslocamentos. Secretaria de Infraestrutura Urbana. Joinville: IPPUJ, 2010.

KLINSKY, Luis Miguel Gutiérrez. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos.** 2008, 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

MACHADO, Rodrigo. **Estudo aplicado da solução de projeto de pavimentação para pátio de estacionamento de ônibus.** 2015, 95 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2015.

MACIEL, Anderson Brum. **Dossie Técnico:** Pavimentos Intertravados. Santa Rosa: Educação Profissional SENAI Vergílio Lunardi, 2007.

MESQUITA, José Carlos Lobato. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária**: Estudo de caso – Rodovia BR-262, Miranda – Morro do Azeite – MS. 2001, 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

MÜLLER, Rodrigo Menegaz. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 2005, 234 p. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000, 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

PITTA, Márcio Rocha. **Projeto de juntas em pavimentos rodoviários de concreto**. 6. ed. São Paulo: ABCP, 1998a.

_____. **Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto**. 10. ed. São Paulo: ABCP, 1998b.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal. Secretaria de Infraestrutura Urbana do Município de São Paulo. **Dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto – IP-06/2004**. São Paulo, 2004.

SANTOS, Lucas Coelho dos. **Estudo da estabilização de um solo expansivo através da incorporação de areia verde de fundição residual**. 2015, 80 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2015.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. Vol. 1.

SILVA, Julia Teles da. **A busca de uma técnica que aproveite materiais locais na construção do muro do Laboratório de Investigação em Living Design (LILD) da PUC-Rio**. 2011, 103 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

SUZUKI, Carlos Yukio; SANTOS, Caio Rubens Gonçalves; LOPES, Flaviane Melo. Pavimento de concreto: uma escolha inteligente e sustentável – análise técnica e econômica. **Concreto: e Construções**, São Paulo, v. 67, ano XL, p.33-37, jul.- set. 2012.

ANEXO A - TABELAS

Tabela A.1 – Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa). PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	K – Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		180	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89	1,01	0,83
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,80
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81	0,90	0,76
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78	0,86	0,73
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72	0,78	0,66
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58

Fonte: DNIT (2005, p. 101).

Tabela A.2 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplo JSP e PCAC (Junta sem barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	K – Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,49	3,45	3,47
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,39	3,35	3,37
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,30	3,25	3,28
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,19	3,24	3,18	3,22	3,16	3,20
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,10	3,17	3,09	3,14	3,08	3,12
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,02	3,10	3,01	3,07	3,00	3,04
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	2,94	3,03	2,93	3,00	2,92	2,97
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	2,87	2,97	2,86	2,93	2,85	2,91
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	2,80	2,91	2,79	2,87	2,79	2,84
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,89	2,74	2,86	2,74	2,85	2,73	2,81	2,72	2,78
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,68	2,80	2,67	2,76	2,66	2,73
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,62	2,74	2,61	2,70	2,59	2,67
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,56	2,69	2,55	2,65	2,54	2,62
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,51	2,65	2,50	2,60	2,49	2,57
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,46	2,61	2,45	2,56	2,44	2,53
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,41	2,57	2,40	2,52	2,39	2,49
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,37	2,53	2,35	2,48	2,34	2,45
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,32	2,49	2,31	2,44	2,30	2,41
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,28	2,45	2,26	2,41	2,25	2,37
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,24	2,43	2,22	2,37	2,21	2,34
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,19	2,38	2,18	2,33	2,17	2,30
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,47	2,15	2,35	2,14	2,30	2,13	2,27
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,12	2,32	2,10	2,27	2,09	2,24

Fonte: DNIT (2005, p. 109).