

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Gabriela Chaves Filgueiras

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROJETOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E
PAVIMENTO INTERTRAVADO PARA FINS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA
VIÁRIO DE UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL EM SENADOR CANEDO**

Goiânia, GO
2019



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gabriela Chaves Filgueiras

Matrícula: 20151011050349

Título do Trabalho: Comparação entre os projetos de pavimento asfáltico e pavimento intertravado para fins de execução do sistema viário de um condomínio horizontal em Senador Canedo.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
- iv.

Goiânia, 17 de Dezembro de 2019.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Gabriela Chaves Filgueiras

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROJETOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E PAVIMENTO
INTERTRAVADO PARA FINS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA VIÁRIO DE UM
CONDOMÍNIO HORIZONTAL EM SENADOR CANEDO**

Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II)
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação Ciência e Tecnologia de Goiás,
Câmpus Goiânia, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Ricardo Alves Cardoso

GOIÂNIA,

2019

F481c Filgueiras, Gabriela Chaves.

Comparação entre os projetos de pavimento asfáltico e pavimento intertravado para fins de execução do sistema viário de um condomínio horizontal em Senador Canedo / Gabriela Chaves Filgueiras. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019. 90f. : il.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Alves Cardoso.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso Bacharelado de Engenharia Civil, Coordenação do Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Incluem anexos e apêndice.

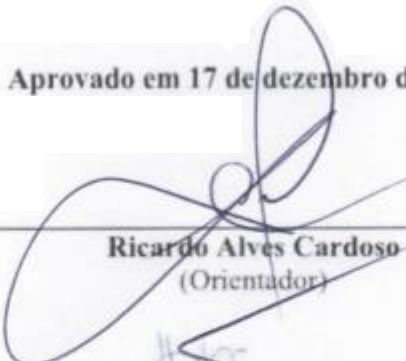
1. Pavimentação. 2. Pavimento asfáltico. 3. Pavimento intertravado. I. Cardoso, Ricardo Alves (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

Gabriela Chaves Filgueiras

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROJETOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E
PAVIMENTO INTERTRAVADO PARA FINS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA
VIÁRIO DE UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL EM SENADOR CANEDO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de Engenharia
Civil, do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus
Goiânia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil**

Aprovado em 17 de dezembro de 2019.



Ricardo Alves Cardoso
(Orientador)



Matilde Batista Melo
(Avaliadora)



Wesley Pimenta Menezes
(Avaliador)

**GOIÂNIA
2019**

DEDICATÓRIA

À minha família, que tornou possível a realização deste sonho, sem medir esforços e incentivos. Amor, pai, mãe e irmãs, vocês foram sensacionais, Obrigada!.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa entre o pavimento asfáltico em execução na infraestrutura do sistema viário do condomínio situado no Município de Senador Canedo e o pavimento intertravado como alternativa de pavimentação. Procurou-se na revisão da literatura a descrição dos conceitos relacionados a pavimentos intertravados e os pavimentos asfálticos, referencial histórico, bem como, seus processos executivos, destacando suas vantagens e desvantagens em relação à escolha do melhor tipo de pavimento viário. Foi dimensionado o pavimento intertravado e realizado a comparação estrutural com o pavimento asfáltico. De posse dos quantitativos obtidos das estruturas dos dois pavimentos foram elaborados os respectivos orçamentos para a comparação dos custos. Ao final, coloca-se a partir dos resultados alcançados no trabalho, a viabilidade técnica e econômica da implantação do paver como solução ao sistema viário do objeto de estudo.

Palavras chaves: pavimento asfáltico, pavimento intertravado, projeto, dimensionamento, orçamento.

ABSTRACT

The main objective of this work is to perform a comparative analysis between the asphalt pavement running on the condominium road system infrastructure located in Senador Canedo and interlocking pavement as an alternative paving. The literature review sought to describe the concepts related to interlocking pavements and asphalt pavements, historical reference, as well as their executive processes, highlighting their advantages and disadvantages regarding the choice of the best type of road pavement. The interlocked pavement was dimensioned and the structural comparison with the asphalt pavement was made. With the figures obtained from the structures of the two floors, the respective budgets were prepared to compare the costs. At the end, the technical and economic feasibility of implementing the paver as a solution in the road system of the object of study is based on the results achieved in the work.

Keywords: asphalt pavement, interlocking pavement, design, sizing, budget.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura típica dos pavimentos intertravados	15
Figura 2 - Relação entre espessura do bloco de concreto e a deformação permanente.....	17
Figura 3 - Formatos típicos dos blocos de concreto	18
Figura 4 - Relação entre o padrão de assentamento e a deformação permanente	18
Figura 5 - Representação do padrão de assentamento	19
Figura 6 - Efeito relativo de diversas cargas por eixo simples	22
Figura 7 - Espessura necessária de sub-base	24
Figura 8 - Espessura necessária de base	25
Figura 9 - Conferência do grau de compactação da camada	29
Figura 10 - Tratamento de material para execução das camadas estruturais do pavimento.....	30
Figura 11 - Compactação de material.....	30
Figura 12 - Aplicação de massa asfáltica	42
Figura 13 - Fluxograma da metodologia	52
Figura 14 - Localização geográfica do objeto de estudo	54
Figura 15 - Implantação geral.....	55
Figura 16 – Caracterização do sistema viário do condomínio.....	62
Figura 17 – Seção transversal das camadas estruturais	65
Figura 18 – Gráfico com resumo financeiro do custo das camadas dos pavimentos	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Espessuras indicadas para as peças de concreto.....	23
Quadro 2 - Valores adotados para o Número N	57
Quadro 3 – Representação esquemática do sistema viário interno.	58
Quadro 4 - Representação esquemática do sistema viário externo.	58
Quadro 5 – Valores estimados para BDI	67
Quadro 6 – Dimensionamento do pavimento intertravado.....	69
Quadro 7 – Pavimento intertravado - Vias internas	70
Quadro 8 – Pavimento intertravado – Vias externas	70
Quadro 9 – Pavimento asfáltico – Vias internas.....	70
Quadro 10 – Pavimento asfáltico – Vias externas	71
Quadro 11 – Planilha orçamentária pavimento intertravado	72
Quadro 12 – Planilha orçamentária pavimento asfáltico.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
AGETOP	Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CBUQ	Cimento Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DMT	Distância Média de Transporte
GC	Grau de Compactação
GOINFRA	Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte
HRB	Highway Research Board
IBP	Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás
ICPI	Interlocking Concrete Pavement Institute
IG	Índice de Grupo
IPR	Instituto de Pesquisa Rodoviária
ISC	Índice de Suporte Califórnia
ISS	Imposto Sobre Serviço
PCA	Portland Cement Association

PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
SBS	Estireno-butadieno-estireno
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
SIURB	Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras
TCPO	Tabelas de Composições de Preço para Orçamentos

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
tf	Tonelada Força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	8
1.2	OBJETIVOS	9
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	PAVIMENTOS INTERTRAVADOS	11
2.1.1	Contexto histórico e cenário atual	11
2.1.2	Aspectos gerais e conceitos	14
2.1.3	Métodos de dimensionamento	20
2.1.4	Processo Executivo.....	25
2.2	PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	33
2.2.1	Contexto histórico e cenário atual	34
2.2.2	Aspectos gerais e conceitos	36
2.2.3	Métodos de dimensionamento	39
2.2.4	Processo Executivo.....	41
2.3	ASPECTOS URBANÍSTICOS E AMBIENTAIS DE PAVIMENTOS VIÁRIOS	
	44	
2.4	ESCOLHA DO TIPO DE PAVIMENTO	45
2.4.1	Vantagens e desvantagens	46
2.5	ORÇAMENTAÇÃO	48
2.5.1	CONCEITOS IMPORTANTES.....	50
3	METODOLOGIA	52
3.1	APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	53
3.2	PROJETO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	56
3.2.1	Dimensionamento.....	56
3.2.2	Orçamentação	58
3.3	PROJETO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO	59
3.3.1	Levantamento de Dados	59
3.3.2	Dimensionamento.....	62
3.3.3	Projeto	64

3.3.4	Levantamento dos quantitativos para orçamento	64
3.3.5	Planilha orçamentária	65
3.4	CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO.....	68
4	APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	69
4.1	DIMENSIONAMENTO	69
4.2	ORÇAMENTO	71
4.3	ANÁLISE FINANCEIRA.....	80
4.4	ANÁLISE ESTRUTURAL	81
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS.....	84
	ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DA PAVIMENTAÇÃO	88
	ANEXO B – PROJETO EXECUTIVO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	89
	APÊNDICE A – PROJETO EXECUTIVO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	90

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação é a área da engenharia civil responsável por estudar os pavimentos viários rurais ou urbanos, tratando-os como sistemas dispostos em camadas, submetidos às ações das cargas dos veículos que irão solicitá-los. De modo geral, as características que devem ser levadas em consideração na estrutura dos pavimentos, estão relacionadas às propriedades de resistência ao tráfego contínuo, que associadas ao fluxo esperado, as variações sazonais e diárias de temperatura e clima, irão definir a resposta do pavimento às cargas de tráfego.

A pavimentação é realizada após os serviços de terraplenagem, que envolvem os cortes e aterros necessários para regularização topográfica do terreno natural, para que se atinja a cota desejada do pavimento viário que irá sobrepor-la. Do ponto de vista estrutural, independentemente do tipo, os pavimentos buscam transferir ao subleito, fundação do pavimento, as cargas que são impostas pelo tráfego, além de resistir aos esforços horizontais que agem na sua superfície, tornando-o mais durável. Funcionalmente, o objetivo é melhorar as condições de rolamento e segurança, propiciando um maior conforto aos usuários durante o uso. Associando-se a esse aspecto funcional dos pavimentos, destaca-se também, que estes colaboram com as condições de limpeza do meio, e ainda, na maioria dos casos, trazem consigo obras de infraestruturas complementares, como os sistemas de drenagem urbana, que colaboram com as condições de escoamento das cidades.

Os pavimentos são geralmente classificados em dois grupos, os pavimentos asfálticos e os rígidos, ou como são comumente chamados, pavimentos asfálticos e pavimentos de concreto-cimento, respectivamente. No primeiro grupo, o revestimento é constituído por agregados e ligantes asfálticos, assentes geralmente sobre três camadas, reforço do subleito, quando necessário, sub-base e base. Já o segundo, apresenta como revestimento placas de concreto de cimento Portland, com dimensões delimitadas pela resistência à flexão da peça de concreto, e das camadas na qual se apoiará. Algumas literaturas trazem ainda um terceiro grupo, os pavimentos semirrígidos ou semiflexíveis, que apresentam um comportamento intermediário entre o rígido e o flexível, correspondendo aos casos em que a base se apresenta cimentada quimicamente.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA

Desde quando surgiu, com a aplicação de pedras sobre estradas de terra, o intuito da pavimentação sempre foi proteger as superfícies de rolamento das ações climáticas, propiciando boa circulação em quaisquer condições impostas pelo meio. No momento atual, ao

se falar em pavimentação, é muito comum associar o assunto imediatamente às superfícies negras das ruas dos centros urbanos, à qual facilmente pode relacionar as funcionalidades descritas inicialmente. O fato é que o asfalto materializa a evolução que se teve nesse segmento, assumindo o lugar das pedras britadas, conhecidas como revestimento primário.

Dentre as diversas obras de infraestrutura executadas no meio urbano, a pavimentação é indicada como uma das mais onerosas. Os custos com mão de obra, maquinário especializado e os insumos propriamente ditos para a execução do pavimento são extremamente elevados, o que torna este serviço prioridade para as empresas executoras, em busca de soluções tecnológicas que otimizem sua execução.

Esse cenário justifica a importância de se estudar este assunto, e mais ainda, promover análises que viabilizem a economicidade na execução deste tipo de infraestrutura em vias urbanas. Além disso, fomenta o estudo do emprego de outras tecnologias de pavimentação, como uma alternativa ao pavimento asfáltico.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é dimensionar o pavimento viário do condomínio horizontal em estudo, utilizando a tecnologia de artefatos de cimento intertravados, e comparar com o dimensionamento do pavimento asfáltico do projeto em execução, bem como, analisar técnico e economicamente a viabilidade da melhor alternativa para implantação.

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar o projeto e o dimensionamento do pavimento asfáltico apresentado pelo empreendedor do condomínio;
- b) A partir do dimensionamento do pavimento intertravado, elaborar o respectivo projeto;
- c) Obter a planilha orçamentária do pavimento asfáltico que será disponibilizada pela empresa parceira responsável pelo empreendimento;
- d) Realizar o levantamento do custo de execução do piso intertravado por meio de banco de dados;
- e) Realizar o estudo comparativo entre o projeto do pavimento intertravado e o pavimento asfáltico.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, apresenta-se a introdução do assunto, com a respectiva delimitação do tema, sua contextualização no cenário geral, apresentando-se a justificativa e sua relevância. Além disso, são indicados os objetivos do trabalho. O capítulo 2 foi destinado à revisão da literatura, apresentando-se esta, dividida em duas partes, que tratam separadamente dos dois tipos de pavimentos viários abrangidos pelo tema. O capítulo 3 também pertence a revisão da literatura, e apresenta alguns conceitos importantes necessários para se concluir os objetivos apresentados. No capítulo 3, se refere a metodologia com a caracterização do objeto de estudo, observando-se as indicações de como se desenvolveu o trabalho, bem como aponta para as formas de levantamento dos dados, e a maneira pela qual foi feita a análise e validação dos resultados encontrados. No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho e por fim, o capítulo 5 contém as conclusões e recomendações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os assuntos relacionados a delimitação deste trabalho, como os conceitos e definições importantes, a fim de oferecer embasamento teórico sobre o assunto, possibilitando a realização das análises finais. Encontra-se dividido em pavimentos intertravados, pavimentos asfálticos, análise urbanística e ambiental e escolha do tipo de pavimento.

2.1 PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

O pavimento intertravado é o primeiro dos assuntos que serão tratados neste capítulo. Sobre este tema, serão feitas quatro abordagens diferentes, são elas: contexto histórico e cenário atual, aspectos gerais e conceitos, métodos de dimensionamento e processo executivo.

2.1.1 Contexto histórico e cenário atual

Desde o início da existência humana, conhecimentos e habilidades de engenharia têm sido necessários para a evolução do padrão de vida. Os primeiros povos da Mesopotâmia, há cerca de 5000 anos a.C. (ABCP, 2010) diante das condições impostas pelo meio, sentiram a necessidade de desenvolver caminhos e estradas que permitiriam o estabelecimento de conexão e comunicação entre os povoados, e dessa forma, desenvolver as cidades e melhorar os padrões de vida. Madrid (1985) indica que, neste contexto, a pavimentação iniciou desde quando os povos faziam a cobertura do terreno com pedras em estado natural.

Seja por propiciar melhores condições de rolamento às carruagens de tração animal que começavam a surgir, pela ascensão do comércio que estava exigindo boas superfícies de rodagem que permitissem a circulação mais rápida e barata para cargas e pessoas, ou simplesmente para proporcionar mais conforto aos usuários, os pavimentos dos primórdios da civilização estavam em evolução. O fato é que, conforme coloca Knapton (1996a), as técnicas de construção de pavimentos dos diversos povos no decorrer de várias épocas, foram de suma importância para o desenvolvimento através dos séculos.

Pode-se exemplificar de forma mais concreta a importância do desenvolvimento da pavimentação, através da história dos romanos. Atribuiu-se parte do sucesso da expansão de Roma às estradas que foram desenvolvidas para conectar os novos territórios conquistados ao império. Destaca-se aqui, que os caminhos romanos já foram construídos com preocupações levadas em consideração ainda hoje, como a expectativa de utilização, o clima e topografia, e principalmente, os materiais locais disponíveis para a execução. Este último critério indicado,

pode ser observado também no Brasil, em 1940, quando a cidade de Rio Branco, capital do Acre, aparece historicamente utilizando blocos de tijolo de argila em sua pavimentação, devido à ausência de pedras na região, e abundância de matéria prima necessária para a execução de tijolo cerâmico (CRUZ, 2003).

Cruz (2003) apresenta um fator curioso sobre os primeiros pavimentos. Segundo o autor, trabalhos de escavação apontam que os romanos já tratavam o pavimento como uma estrutura dividida em camadas, e mais ainda, já tinham o conhecimento que a adição de alguns materiais como calcário e seixo rolado, melhoravam a capacidade de resistência das camadas.

O desenvolvimento das primeiras formas de pavimentação evoluiu inicialmente para as pedras talhadas, estima-se que os primeiros assentamentos foram feitos no século XVIII. No Brasil, segundo Balbo (2007), a primeira via pavimentada foi construída em 1792, e utilizou esse tipo de revestimento. Trata-se da Calçada do Lorena, que ligava Riacho Grande, em São Bernardo Campo à Cubatão, Santos. Hoje se trata de um ponto turístico da região, mas inicialmente, quando foi construída, era utilizada principalmente para transporte de produtos. No geral, a dificuldade de se produzir manualmente essas peças, padronizar as dimensões de modo a facilitar e homogeneizar o encaixe, além do desconforto na utilização, impulsionaram o desenvolvimento das peças pré-moldadas de concreto.

Os primeiros avanços são registrados na Holanda e Alemanha, segundo Cruz (2003), após a Segunda Guerra Mundial para uso na reconstrução dos países. Inicialmente, as peças imitavam os tijolos e pedras usados anteriormente, para substituição destes. O período subsequente, foi marcado pelo aprimoramento das formas das peças, o surgimento do conceito de intertravamento e a preocupação com as juntas entre as peças.

Na década de 70, cresceu significativamente a variedade de formas dos blocos e o seu uso pelo mundo como um todo. No início de 1980, já se produzia anualmente cerca de 45 milhões de metros quadrados (SMITH, 2002 apud CRUZ, 2003). No Brasil, segundo Hallack (1999), os blocos de concreto foram utilizados como material de revestimento na década de 1970. De modo geral, o desenvolvimento tecnológico nessa área, permitiu que com o tempo, fosse possível associar a forma geométrica das peças, com o desempenho do pavimento, em função do tipo de tráfego.

Diante de todo esse cenário, pode-se observar o que é indicado por Muller (2005), o desenvolvimento das diversas técnicas de pavimentação resultara de uma evolução de procedimentos. Os pavimentos intertravados se desenvolveram a tal ponto, que já permearam

os diversos setores, desde de calçadas, praças, ruas, pisos industriais, portos, aeroportos e até mesmo rodovias.

Com o desenvolvimento das técnicas de pavimentação asfáltica, o uso do intertravado ficou mais limitado a funções arquitetônicas e paisagísticas, para harmonizar os ambientes. No entanto, nas últimas décadas, esse tipo de pavimento tem ganhado espaço em larga escala no mercado, inclusive nas rodovias. Segundo Madrid (2004), a partir de 1990, a África do Sul iniciou o programa de pavimentação de rodovias com pavers de concreto. Dentro do programa, foi desenvolvida a estrada que liga várias cidades ao centro industrial de Phuthditjhaba, em Qwa Qwa, trecho ao sul de Johannesburgo. Destaca-se aqui, que o projeto em pavimento intertravado, custava 13% a mais que a opção mais barata, o pavimento asfáltico. No entanto, foi possível algumas reduções de custo no desenvolvimento do projeto e durante a execução, o que indica que esse tipo de pavimento também é viável financeiramente.

Recentemente, a possibilidade de assentamento mecânico desse tipo de pavimento tem tornado o seu emprego ainda mais viável, tanto do ponto de vista financeiro, quanto executivo. O emprego das máquinas de pavimentação com intertravado, também chamadas de pavimentadoras, garante um processo mais eficiente, rápido e bem-acabado. No Brasil geralmente opta-se pelo assento manual, mas nos Estados Unidos e países da Europa, as pavimentadoras já estão bastante presentes nas obras. O emprego dessa tecnologia tem reduzido a quantidade de mão de obra necessária para a execução dos serviços, bem como o tempo gasto para finalização das obras. Além disso, as pavimentadoras preservam as condições físicas do trabalhador, uma vez que a mão de obra que acompanha a máquina é responsável na maior parte do tempo, por realizar apenas pequenos ajustes nas peças.¹

Relacionado a essa abordagem mais recente a respeito dos blocos pré-moldados de concreto, e para mostrar como esse tipo de pavimentação tem se destacado e mostrado sua importância, apresenta-se as premiações da Revista Prisma do ano de 2005 (MADRID, 2004). De acordo com a revista, o Prêmio Prisma tem o objetivo de ajudar na difusão dos melhores projetos de edificações e paisagismos utilizando blocos, pisos, intertravados e produtos de concreto. Em 2005, a revista premiou em primeiro lugar a arquiteta Lara Cristina Andreoti Torres, pelo projeto de reurbanização da Alameda Prof. João Cândido, em Apucarana Paraná, que utilizou blocos intertravados de concreto para a revitalização. No mesmo ano, o segundo

¹ Lopes, M. Pavimentadoras de intertravado economizam tempo e dinheiro. Disponível em: <https://www.temsustentavel.com.br/pavimentadoras-de-intertravado-economia/>. Acesso em: 15 mar. 2019.

lugar, ficou para a arquiteta Madalena Fuke, autora do projeto de paisagismo do condomínio Carmel, localizado na Praia de Atlântida, Rio Grande do Sul. Neste, foram executados 7700 m² de ruas pavimentadas com piso intertravado².

2.1.2 Aspectos gerais e conceitos

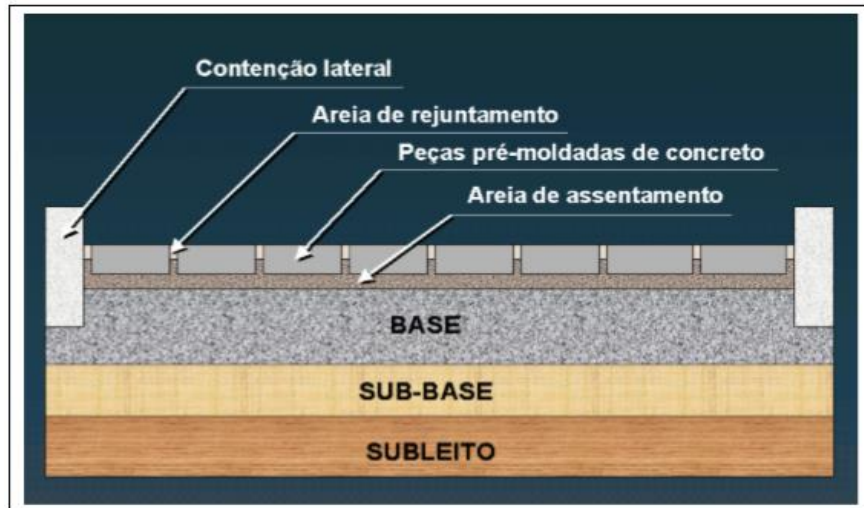
O pavimento é uma estrutura formada por camadas com espessuras finitas definidas em projeto a partir de um determinado dimensionamento. É executado após os serviços de terraplanagem, ficando então, sobre corte ou aterro, de acordo com a variação do terreno natural. Esta estrutura é preparada visando propiciar conforto aos usuários e condições de rodagem segura. Além disso, do ponto de vista estrutural, deve suportar as tensões normais e cisalhantes impostas pelo tráfego, e distribuí-las de modo que chegue ao subleito uma parcela inferior àquela imposta pela carga dos veículos.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP 2010, p. 9) o pavimento intertravado é aquele “[...] composto por peças de concreto, assentadas sobre camada de areia e travadas entre si por contenção lateral.”. Este pavimento deve ter superfície de rolamento formado por peças denominadas pavers, que devem apresentar durabilidade e resistência. Segundo Hallack (1999), o revestimento deve resistir as cargas e tensões, e proteger a base do desgaste por abrasão, além de mantê-la com baixos níveis de água, para não prejudicar a sua estabilidade.

Na Figura 1 estão apresentas as camadas estruturais que geralmente constituem os pavimentos, e em seguida descreve-se as especificidades cada uma delas.

² Revista Prisma. Disponível em: http://www.revistaprisma.com.br/premio/encarte_premio.pdf. Acesso em: 18 mar, 2019.

Figura 1 - Estrutura típica dos pavimentos intertravados



Fonte: HALLACK, 1999

a) Subleito

O subleito é a camada final de terraplanagem, que irá receber o pavimento. É importante que este esteja compactado, regularizado e que através de serviços topográficos se identifique que se encontra na cota correta. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2011) indica que esta superfície estará em condições de receber as camadas superiores desde que apresente Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior ou igual a 2%, e expansão volumétrica menor ou igual a 2%. Caso esse índice seja menor que o indicado, deve-se ter uma camada além das indicadas na Figura 1, chamada de reforço do subleito. Esta deve atender as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), contidas na NBR 12752. Carvalho (1998), sugere que essa camada tenha 30 cm de espessura e um valor de CBR 5 pontos acima do CBR do subleito. Uma segunda alternativa para essas situações, é realizar a troca do material do subleito, por um que se encontre dentro dos índices indicados, caso seja mais viável economicamente.

b) Sub-base

Observa-se na literatura, que nem sempre essa camada será necessária. A ABCP (2010) traz as camadas que compõem a seção transversal desse pavimento, e está não é contemplada. Em Shackel (1991 apud CRUZ, 2003), é apresentado que a necessidade desta camada está relacionada com a intensidade das cargas de tráfego, e da capacidade de suporte

do subleito, o que também indicará a sua espessura. Com função semelhante à da base, normalmente é composta de material granular, visando aumentar a resistência global da estrutura (GODINHO, 2009).

c) Base

A base é a camada de destaque na estrutura. É a responsável por receber e distribuir as tensões impostas pela circulação dos veículos, de modo a minimizar os esforços sobre o subleito, e garantir a sua estabilidade. Podem ser constituídas de materiais pétreos ou misturas estabilizadas com cimento, o que oferece uma camada impermeável e com considerável resistência mecânica. A espessura mínima indicada para essa camada é 10cm (ABCP, 2010).

d) Camada de assentamento

A camada de assentamento é a mais fina de toda a estrutura do pavimento, contém no geral de 3 a 5 cm de areia compactada (CARVALHO M. D., 1998) sendo tolerável uma variação máxima de 2 cm para mais ou menos, e devendo apresentar umidade entre 3% e 7% (ABNT, 2011). No entanto, a pequena espessura dessa camada não sugere que esta seja insignificante, pelo contrário, o bom desempenho do pavimento e a manutenção precoce estão diretamente relacionados a qualidade ou má execução da camada. A responsabilidade dessa camada, é formar uma superfície regular e homogênea para o assentamento do paver, o que evita a concentração de tensões em locais pontuais (CRUZ, 2003) A sua importância se torna evidente com a grande quantidade de recomendações que os pesquisadores fazem a seu respeito.

A Carvalho (1998), indica que a areia a ser utilizada nessa camada não contenha mais que 5% de silte e argila em massa, e no máximo 10% do material pode ficar retido na peneira de 4,8 mm. De modo geral, os autores concordam que a forma dos grãos de areia influencia o comportamento e as deformações do pavimento. Segundo Cruz (2003), os grãos com aspectos mais angulares, possuem um maior coeficiente de atrito, o que oferece uma melhor distribuição de tensões.

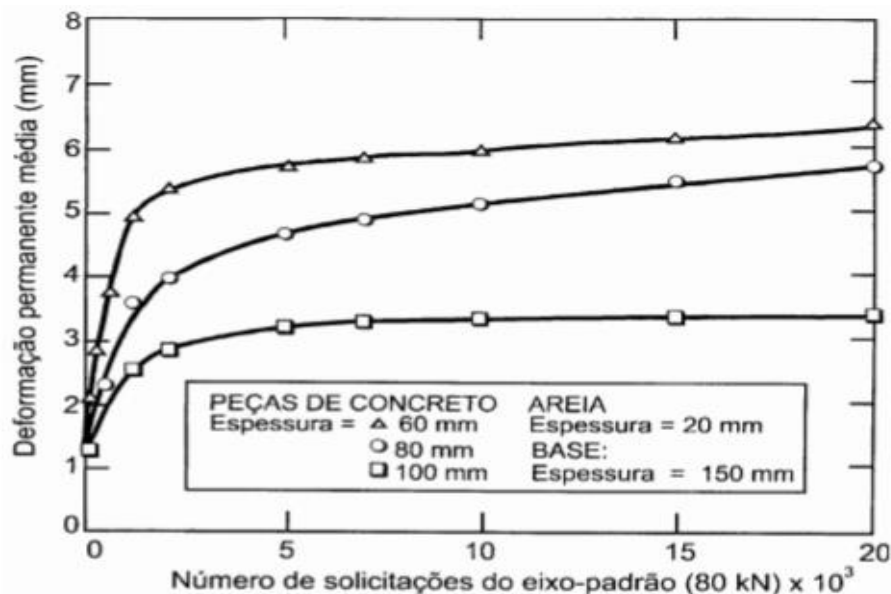
e) Camada de revestimento

A camada de revestimento é formada pelos blocos de concretos, sendo a responsável não só pela aparência estética do pavimento, como também por resistir aos esforços cisalhantes das rodas dos veículos. O aspecto estético desta, é de grande peso para a escolha dessa pavimentação em alguns casos, enquanto a função estrutural da camada é determinada

pela rigidez do concreto que constitui a peça, e pelo intertravamento entre elas (HALLACK, 1999).

Com relação a influência da forma dos blocos no desempenho da estrutura, não há consenso na literatura, mas alguns autores sugerem que as peças mais segmentadas oferecem uma melhor condição de intertravamento (SHACKEL 1990, apud GODINHO 2009). Aparecem divergências de pensamento também em relação a espessura dos blocos. Knapton (1996b) e a ABCP (1999) diz que não há grandes interferências da espessura do bloco no desempenho do pavimento. Por outro lado, Shackel (1991 apud CRUZ, 2003), através de resultados obtidos em ensaios na África do Sul com um simulador de veículos pesados, apresenta dados que relacionam a menor espessura das peças com maiores deformações permanentes no pavimento, conforme pode-se observar na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Relação entre espessura do bloco de concreto e a deformação permanente



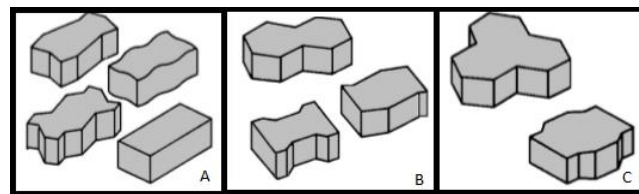
Fonte: Shackel 1991 apud CRUZ, 2003

O gráfico da Figura 2 permite observar ainda, que independentemente da espessura do bloco, a deformação é maior para as primeiras solicitações. Isso ocorre devido a acomodação das peças no colchão de areia. Em seguida, ocorre a estabilização e as deformações passam a ser menores e com um aspecto mais constante. A espessura das peças segundo Carvalho (1998) varia de 6,0 a 10,0 cm, de acordo com o local de aplicação. Existe uma pequena tolerância para

a variação de fábrica dessa medida, pois a camada de areia é capaz de absorver essas diferenças mantendo o pavimento nivelado.

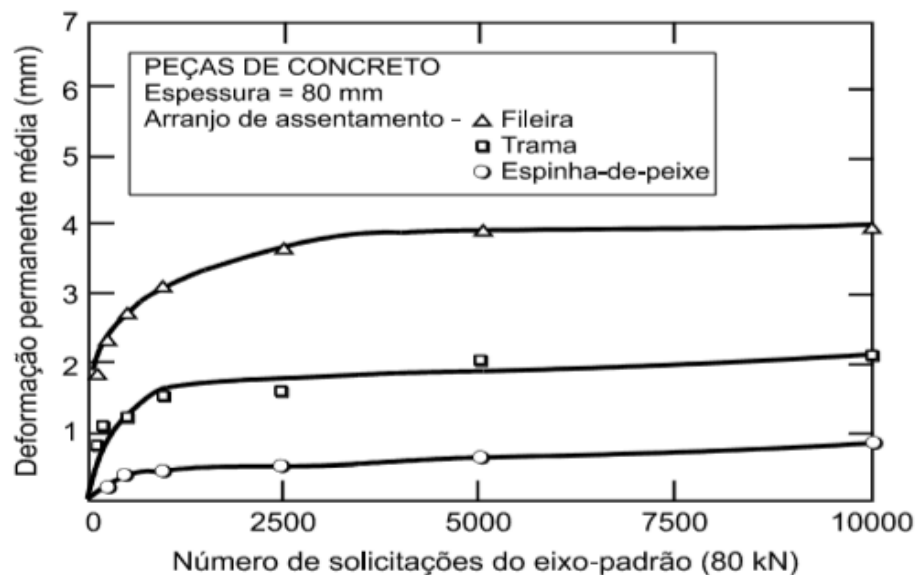
A variabilidade na forma dos blocos (Figura 3) e as diversas possibilidades de arranjo entre eles, oferece diversas disposições estéticas. A forma que as peças serão colocadas irá influenciar no desempenho do pavimento, devido as condições de intertravamento que serão criadas. Nas peças dispostas em fileiras, o intertravamento entre as peças será menor, principalmente se as filas forem no sentido tráfego. O posicionamento em espinha de peixe ou trama, é indicado pelo Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI, 2002) para tráfego veicular, por possuir maior intertravamento e consequentemente menores deformações, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 4. A representação dos padrões de assentamento referidos neste gráfico, podem ser observados na Figura 5.

Figura 3 - Formatos típicos dos blocos de concreto



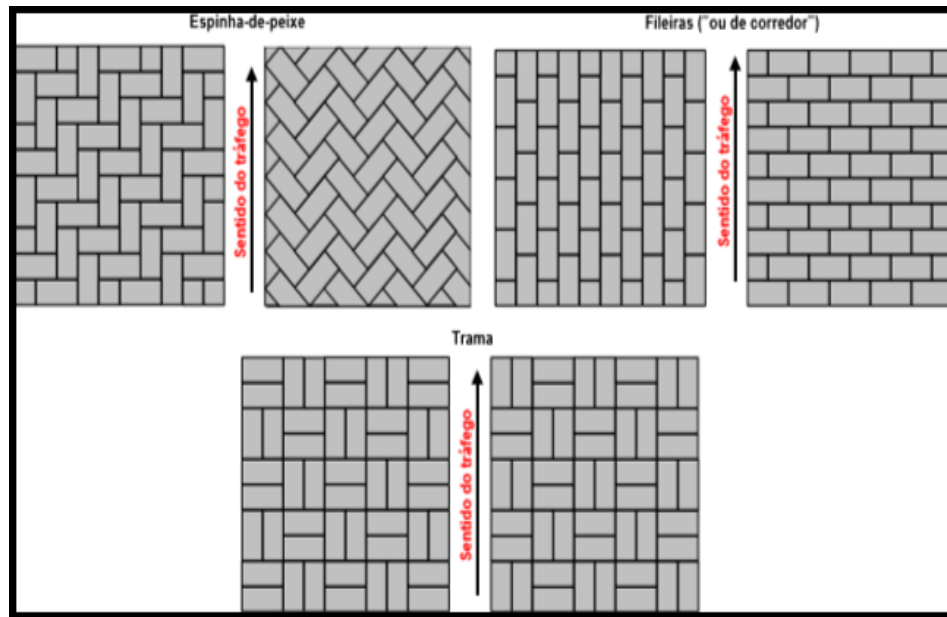
Fonte: Adaptado SCHACKEL, 1990 apud GODINHO 2009

Figura 4 - Relação entre o padrão de assentamento e a deformação permanente



Fonte: Adaptado SCHACKEL, 1990 apud GODINHO 2009

Figura 5 - Representação do padrão de assentamento



Fonte: Adaptado HALLACK, 1999

f) Confinamento e Intertravamento

Apesar de não fazer parte das camadas constituintes do pavimento, as estruturas de confinamento são de grande importância para o mesmo. Trata-se de peças pré-moldadas, ou moldadas no local, que irão garantir a contenção lateral, evitando o deslocamento das peças e a perda do intertravamento devido as solicitações de uso, ou durante a execução. O confinamento pode ser interno ou externo. O primeiro acompanha o perímetro do pavimento, enquanto o segundo, contorna obstáculos presentes no meio dele.

Assim como o conceito apresentado anteriormente, o intertravamento não compõe as camadas do pavimento, mas trata-se de uma característica importante do mesmo e que deve ser considerada. O intertravamento está diretamente ligado ao confinamento, bem como a areia da camada de assentamento. O intertravamento “É a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos.” (ABCP, 2010, p. 9). Para que se garanta o intertravamento, as estruturas de confinamento citadas anteriormente devem estar presentes e bem executadas, juntamente com as juntas entre os pavers, que colaboram para o bom funcionamento dos três tipos de intertravamento, horizontal, vertical e rotacional. Segundo a ABNT (2011), as juntas devem ter de 2 mm a 5 mm de espessura no geral, mas algumas situações podem pedir outros valores que devem ser indicados em projeto.

O intertravamento horizontal é responsável por garantir a indeslocabilidade das peças umas em relação às outras, devido a ação de forças horizontais, como por exemplo as frenagens ou arranques dos veículos. Com relação ao intertravamento vertical, destaca-se que está bastante relacionado ao formato dos blocos, uma vez que as peças que se ligam através de encaixes macho-fêmea, apresentam um maior intertravamento nesse sentido. Pode-se dizer, que este tipo de intertravamento é solicitado, quando o pavimento é submetido a ações verticais, que imprimem esforços cisalhantes entre os blocos e tendem a afundá-los. Neste sentido, a camada de assentamento também participa do intertravamento, absorvendo parte das tensões impostas, e ainda, através do preenchimento da região inferior das juntas que é possível por meio da vibração sobre os blocos de concreto, o que gera a distribuição das cargas entre os blocos. Por fim, o intertravamento rotacional é acionado quando agem cargas nas extremidades dos blocos, provocando o giro destes em relação ao seu eixo, e às demais peças (SERAFIM, 2010).

2.1.3 Métodos de dimensionamento

Na maior parte dos trabalhos que tratam do dimensionamento dos pavimentos intertravados, tanto no âmbito nacional como internacional, o embasamento do dimensionamento segue usualmente quatro linhas de desenvolvimento. Em Shackel (1990, apud CRUZ, 2003), Hallack (1999), e Shackel (1980, 1984, 1992, apud SILVA, 2016), trazem que via de regra, o dimensionamento do pavimento intertravado é baseado em experiências de campo, por meio de pistas de teste em escala real por exemplo, ou ainda, em dados obtidos empiricamente. Podem também, se basear em métodos de dimensionamento existentes para pavimentos flexíveis, e por fim, tem-se os que se amparam em modelos computacionais mecanicistas.

Outro fato relacionado ao assunto e que aparece em várias pesquisas, remete-se a equivalência existente entre a mistura asfáltica que forma a superfície de rolamento nos pavimentos asfálticos, e as peças de concreto, juntamente com a camada de assentamento de areia, que corresponde a camada de revestimento nos pisos intertravados. A primeira pesquisa que abordou este assunto, foi desenvolvida em 1974 pela Associação de Concreto e Cimento da Inglaterra, e os resultados obtidos em tal, foram publicados em 1976. Fundamentado nestes resultados, Knapton (1992 apud, SILVA 2016) indicou que o revestimento formado pelos blocos de concreto e a areia de assentamento, têm um comportamento estrutural homogêneo e elástico, assemelhando-se estruturalmente a camada de mistura asfáltica.

A literatura oferece diversos métodos que podem ser utilizados no processo de dimensionamento dos pavimentos intertravados. No contexto internacional, aparecem com mais frequência o método Lockpave de 1988, utilizado para rodovias e situações industriais, o método de Hallack/1998, para terminais de carga e pátios industriais, e o método de Cook/1996 baseado na norma britânica BS7533 de 1992, para tráfegos leves (CRUZ, 2003).

Além destes citados anteriormente, encontra-se também referências ao método da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de 1993, utilizado em geral para situações com até 10 milhões de repetições do eixo padrão de 80 kN, e velocidade de circulação de até 70 Km/h, e o método de projeto apresentado mais recentemente no manual da INTERPAVE/2012, desenvolvido no Reino Unido, também com base na norma britânica BS7533 (SILVA, 2016).

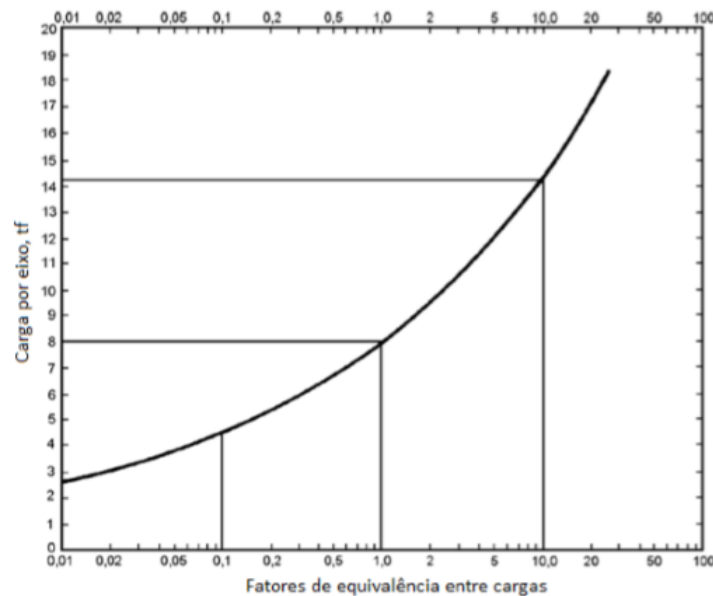
Na conjuntura nacional, os métodos mais comumente referenciados, são os apresentados pela ABCP/1998, DNIT/2005 e o método da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) de 2004. O modelo do DNIT é apresentado no Manual de Pavimentos Rígidos, que indica a utilização para pátios, e locais com baixo volume de tráfego e de velocidade de circulação reduzida. O método da PMSP é descrito na Instrução de Projeto IP-06/2004, onde indica-se a utilização para vias de pequena circulação. Este método é citado nos trabalhos de Manenti e Arns de 2017, onde é utilizado para dimensionar o trecho em estudo, e em Carvalho, 2011, que faz uma abordagem técnica do mesmo.

O método de projeto proposto pela ABCP é uma adaptação do publicado por A. A. Lilley e B. J. Walker³, sendo aplicado a tráfego de veículos comerciais, e será o método utilizado no dimensionamento que será proposto neste trabalho em sua segunda etapa. Assim sendo, apresentar-se-á a seguir os aspectos relacionados a este.

De modo geral, o processo de dimensionamento por este método consiste em análises gráficas, que indicarão as espessuras das camadas. Para tanto, algumas informações prévias são necessárias. A primeira delas, refere-se ao número de solicitações de determinada carga por eixo. De posse deste número, e por meio do gráfico da Figura 6 abaixo, conforme é apresentado por Carvalho (1998), converte-se o número de solicitações previstas, no número equivalente de solicitações diárias de uma carga padrão de 8,2 tf por eixo simples.

³ LILLEY, A. A.; WALKER, B. J. Concrete block paving for heavily trafficked roads and paved areas. London: C.C.A., 1978.

Figura 6 - Efeito relativo de diversas cargas por eixo simples



Fonte: CARVALHO, 1998

Para se encontrar o fator de equivalência, deve-se no gráfico, a partir da carga suportada por eixo (ordenada), projetar uma reta horizontal até tocar a curva do gráfico. Quando isto ocorrer, estende-se uma reta vertical deste ponto até as abscissas. Este ponto encontrado no eixo x, é o fator de equivalência, que deverá ser multiplicado pelo número de eixos que suportam tal carga, e pelo número de solicitações por dia, para encontrar-se o número de solicitações do eixo padrão/dia.

Tendo-se o número de solicitações do eixo padrão/dia, denominado número N, obtido na primeira etapa descrita, procede-se para o passo seguinte. O segundo gráfico a ser analisado, apresentado na Figura 7, fornecerá a espessura necessária de sub-base, a partir do valor do CBR do subleito e do número N. Segundo Carvalho (1998):

- a) Para $N \geq 0,5 \times 10^6$ o material da sub-base deve ter no mínimo $\text{CBR} = 30\%$. Para este valor de N, caso o subleito apresente $\text{CBR} \geq 30\%$, a camada de sub-base não será necessária.
- b) Para $N < 0,5 \times 10^6$ o material da sub-base deve ter no mínimo $\text{CBR} = 20\%$. Para este valor de N, caso o subleito apresente $\text{CBR} \geq 20\%$, a camada de sub-base não será necessária.

A utilização desse gráfico consiste em, a partir do valor do número N indicado na abscissa, subir uma reta vertical até tocar a curva do gráfico que represente o valor do CBR do subleito em questão. Encontrando-se este ponto, a partir dele, segue-se com uma reta horizontal até a ordenada, (eixo y) onde se encontrará a espessura da camada de sub-base, em centímetros.

O último gráfico a ser analisado neste método, apresentado na Figura 8, indicará a espessura da camada de base, através do número de solicitações do eixo padrão (N). Deve-se, portanto, a partir do valor de N identificado em x, proceder com uma reta vertical até a curva do gráfico, e a partir desse ponto de cruzamento, traçar uma reta horizontal com direção a y. O valor encontrado na ordenada, indica a espessura da camada de base.

Carvalho (1998) traz que, caso N seja menor que $1,5 \times 10^6$, não há necessidade de se executar a camada de base. Porém, é recomendado que se utilize a espessura mínima, de 10 cm para a camada, para as situações onde se tiver $1,5 \times 10^6 \leq N < 1,0 \times 10^7$.

Com relação a espessura das peças de concreto, está será definida em função do tipo de tráfego previsto para o local, podendo variar de 6,0 a 8,0 cm. Carvalho (1998) recomenda que se utilize as espessuras conforme apresentado no Quadro 1 abaixo.

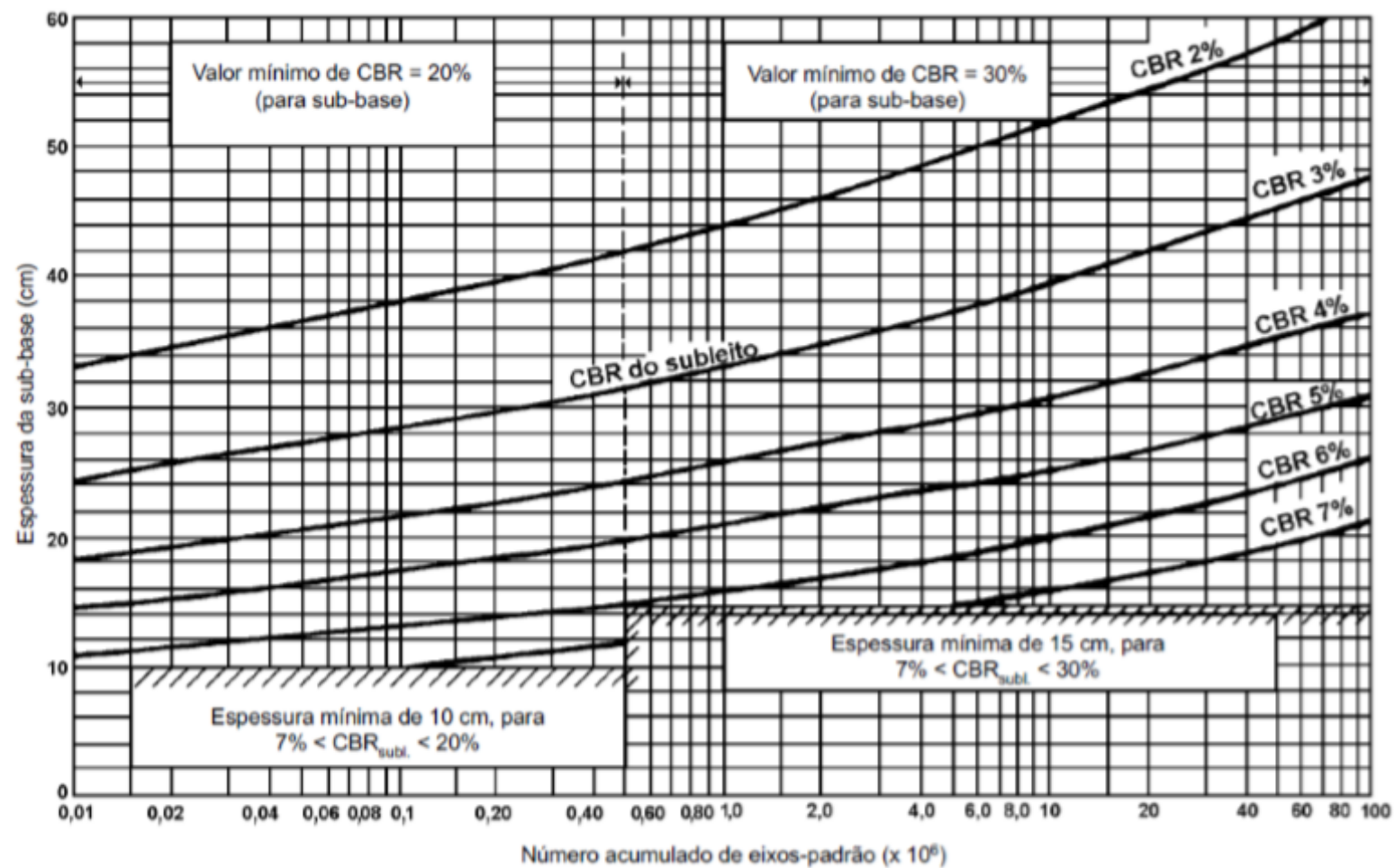
Quadro 1 - Espessuras indicadas para as peças de concreto

APLICAÇÃO	ESPESSURA DA PEÇA (cm)
Ruelas, becos sem saída, pequenos logradouros, pátios de estacionamento - TRÁFEGO LEVE	6
Locais sujeitos a tráfego de veículos comerciais - TRÁFEGO MÉDIO	8
Locais sujeitos a tráfego de veículos especiais, áreas portuárias, industriais, vias urbanas com tráfego intenso de veículos comerciais - TRÁFEGO PESADO	10

Fonte: Adaptado CARVALHO, 1998

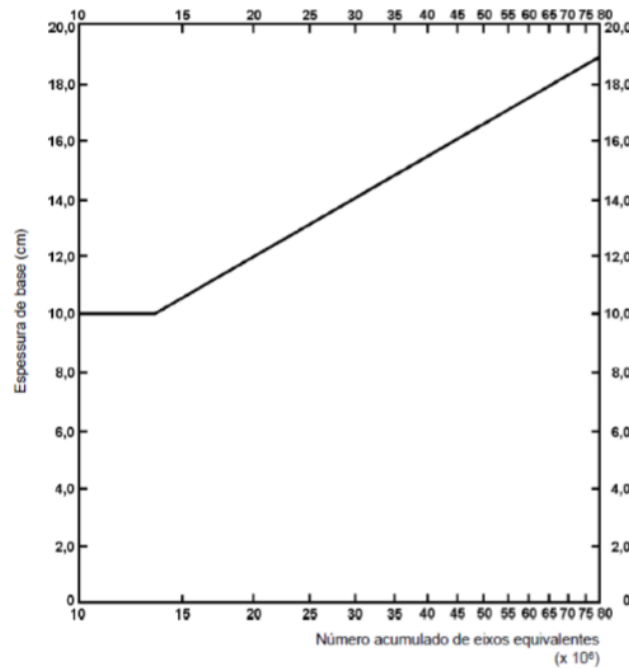
Por fim, a indicação para a espessura da camada de areia, é que após ser compactada, esta deve apresentar de 3,0 a 5,0 cm de altura. Assim sendo, a prática é que se utilize uma espessura solta, de 1,5 cm a mais do que se deseja obter após a compactação (CARVALHO, 1998).

Figura 7 - Espessura necessária de sub-base



Fonte: CARVALHO, 1998

Figura 8 - Espessura necessária de base



Fonte: CARVALHO, 1998

2.1.4 Processo Executivo

Dentre os serviços que compõem o universo das obras de infraestrutura, a execução da pavimentação é no geral, a atuação que mais exige atenção e cuidados especiais, uma vez que se trata da etapa de maior custo financeiro na maioria dos casos. Diante disso, tanto a concepção do projeto, como as alterações em campo que venham ser necessárias no momento da execução, devem ser realizadas com cautela e prudência, analisando o todo das obras.

Conforme tem-se da definição de pavimento já apresentada nos itens anteriores, este refere-se às estruturas executadas após os serviços de terraplanagem. Neste contexto, a conferência topográfica é de extrema necessidade e importância. As checagens que a equipe de topografia deve fazer neste momento, se resume em realizar a conferência da cota final deixada pela terraplanagem, e verificar se esta corresponde a cota de projeto, tenha sido a plataforma oriunda de corte ou aterro. Deve-se ainda, conferir a declividade deixada ao longo da pista.

Estes serviços apesar de parecerem simples, são de grande relevância pois afetam uma série de fatores. A execução da pavimentação nas cotas erradas, por exemplo, acaba por prejudicar o encaixe entre as ruas adjacentes, pode provocar problemas de recobrimento nas redes de distribuição de água e coleta de esgoto e afeta ainda, o sistema de drenagem urbana

que pode se tornar ineficiente. Com relação a este último, a situação pode ainda ser agravada, caso não se respeite as declividades exigidas em projetos e normas técnicas. Recomenda-se no mínimo uma declividade de 2% na plataforma, para que não se prejudique o escoamento das águas pela superfície do pavimento (ABCP, 2016a).

As pistas de rolamento, podem ser formadas a partir de corte ou aterro sobre o terreno natural. Diante disso, nas situações de aterro, o material que irá compor cada camada, deve ser devidamente cortado, transportado, tratado e compactado. Neste sentido, procura-se fazer os empréstimos nas regiões mais próximas, desde que as características do material atendam aos requisitos mínimos especificados em projeto. Tal ato se deve ao propósito de obter-se as menores distâncias de transportes possíveis, uma vez que este é um dos pontos que elevam o preço final do serviço.

Os materiais que irão formar as camadas granulares do pavimento precisam apresentar grãos de diversos tamanhos, para que através da compactação, estes se disponham de modo a oferecer amarração para a camada (ABCP, 2016a). Esses materiais são gerados geralmente com o emprego de escavadeiras hidráulicas, que realizam o corte na região de empréstimo, e carregam os caminhões que farão o transporte da origem ao destino.

Chegando aos locais onde serão empregados, os materiais são depositados formando pilhas, e precisam ser primeiramente tratados. Esta etapa consiste no geral em atingir a umidade ótima do material, destorroa-lo, e fazer a retirada das raízes, plantas e matéria orgânica em geral. A umidade ótima deve ser obtida em laboratório para cada material, de modo que se as características do solo que está sendo obtido na região de empréstimo se altere, ou caso mude-se o local de corte, deve-se fazer outro ensaio para o novo material. Passa-se então a trabalhar com os novos valores de umidade ótima e densidade aparente máxima seca.

Os materiais empilhados são então tratados com o emprego em geral de motoniveladoras, tratores de pneu com grade e caminhões pipa. Neste momento, é preciso que a espessura da camada de material solto seja observada, para que, após a compactação não se ultrapasse a espessura máxima permitida de 15 cm, bem como não se obtenha uma camada com espessura inferior a mínima, de 10 cm, conforme indica a ABCP (2016a). Destaca-se aqui, que caso o material se apresente com umidade de campo acima da ótima, o mesmo pode ser aerado também com motoniveladora e trator de pneu com grade, a fim de se retirar o excesso de umidade do solo.

A espessura da camada solta pode ser calculada segundo Marques (sd)⁴ através da fórmula abaixo:

$$e_s = \frac{g_c}{g_s} \times e_c \quad (1)$$

Onde:

e_s : Espessura solta;

e_c : Espessura compactada;

g_c : Densidade compactada (laboratório - $\gamma_{m\acute{a}x}$);

g_s : Densidade solta.

Apesar da fórmula acima ser de simples utilização, o que se observa no dia a dia das obras, é que geralmente utiliza-se uma espessura de camada solta, cerca de 5 a 7 cm a mais do que se espera obter para a camada compactada.

Se por um lado não é de praxe calcular em campo a espessura da camada de material solto, o cálculo do volume a ser transportado, e a quantidade de viagens para tal é uma prática comum. Marques (sd)⁴ indica que estes índices podem ser obtidos através das expressões abaixo:

$$V_s = e_s \times L \times E \quad (2)$$

Onde:

V_s : Volume solto;

e_s : Espessura solta;

L : Largura da pista;

E : Extensão do trecho.

$$N = V_s / q \quad (3)$$

Onde:

N : Número de viagens necessárias;

V_s : Volume solto;

⁴ Notas de Aula da Disciplina de Pavimentação – Professor: Geraldo Luciano de Oliveira Marques – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais.

q : Capacidade de cada caminhão de transporte.

O autor traz ainda, um último cálculo que pode ser empregado para determinar a distância que deve ser mantida entre as pilhas no momento do lançamento do material.

$$d = E/N \quad (4)$$

Onde:

d : Espaçamento entre as pilhas;

E : Extensão do trecho;

N : Número de viagens necessárias;

No entanto, observa-se que está também não é uma prática comum no campo. Em geral, utiliza-se depositar cinco pilhas de material entre duas estacas, distanciadas vinte metros uma da outra.

Estando o material que irá formar as camadas estruturais do pavimento devidamente tratado, a etapa subsequente diz respeito a compactação do mesmo. A importância dessa etapa da execução é evidenciada pela ABCP (2016a) ao indicar que é a responsável pelo sucesso dos pavimentos em geral.

Segundo Marques (sd)⁴, para a execução desses serviços normalmente utiliza-se o rolo liso para os acabamentos, e para o levantamento do aterro, o rolo pé de carneiro. Além disso, o autor orienta quanto a forma de se executar a compactação, a partir do formato da superfície. Para os trechos retilíneos, deve-se iniciar a compactação do bordo, e ir em direção ao eixo. Para as regiões de curva, a compactação é feita do bordo interno para o externo.

A compactação é controlada em campo através da realização de ensaio que determina do Grau de Compactação (GC) obtido na camada compactada. É prática de campo controlar previamente a quantidade de passadas que o rolo compactador deve dar sobre o material para atingir a compactação necessária. De acordo com o método de ensaio 92 do DNER (1994), o grau de compactação obtido em campo pode ser calculado através da expressão:

$$G_c = \frac{\gamma_{d \text{ campo}}}{\gamma_{d \text{ máx}}} \times 100\% - \text{Método do frasco de areia} \quad (5)$$

Onde:

G_c : Grau de compactação;

$\gamma_{d \text{ campo}}$: Massa específica aparente do solo seco “in situ”;

$\gamma_{d \text{ máx}}$: Massa específica aparente do solo seco, obtida em laboratório.

Costuma-se realizar este procedimento através do método do frasco de areia, ilustrado na Figura 9. Este método consiste em realizar um furo na camada de solo compactada, retirar todo o solo do interior deste, e preencher o furo com areia. Conhecido o volume inicial total de areia que ocupava o frasco, o volume final (sem a areia que preenche o furo), a umidade obtida em campo e a umidade de laboratório, determina-se o grau de compactação obtido no trecho. Com relação a esta etapa que é de grande importância, uma vez que indica se as condições de umidade e compactação exigidas em projetos e normas foram atendidas, é importante salientar que este furo para checagem dos parâmetros seja feito a cada 100 m compactados, e que se alterne o local (DNIT, 2010b).

Figura 9 - Conferência do grau de compactação da camada



Fonte: Autoria própria

Por se tratar de um aspecto crítico, caso o grau de compactação esteja abaixo do estipulado, o trecho compactado deve ser reaberto, tratado novamente e submetido a

compactação outra vez. Apresenta-se abaixo as Figuras 10 e 11, que representam as etapas de tratamento e compactação de material, mencionadas anteriormente.

Figura 10 - Tratamento de material para execução das camadas estruturais do pavimento



Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Compactação de material



Fonte: Autoria própria

Conforme dito inicialmente, a execução dos pavimentos é um ponto primordial desse assunto, dado que a qualidade com que é feita, bem como a dos materiais empregados para tal, irão determinar o desempenho do pavimento. Nesta conjuntura, a compactação se faz presente novamente. Visto que as estruturas de contenção externa, como os meio fios, devem estar devidamente ancorados na camada de base, garantido estaticidade total no momento da execução e durante toda a vida útil do pavimento, a compactação dos bordos das pistas não pode ser comprometida negativamente. Esta compactação adequada, conforme é abordado pela ABCP (2016a), assegura o confinamento da estrutura.

a) Subleito e Reforço do Subleito

A camada de subleito é a primeira a ser executada, sendo, portanto, a camada precedente à terraplanagem. Deve-se observar algumas condições específicas no momento da execução desta, bem como realizar uma análise das condições que o solo apresenta.

A declividade final que o revestimento deve apresentar, precisa ser executada já nesta camada, devendo por tanto, se propagar às camadas superiores, mantendo desse modo a espessura constante. Caso o material constituinte dessa camada se encontre saturado, ou tratando-se de um solo muito fino, o ICPI (2012, apud SILVA, 2016) indica que se utilize uma manta geotêxtil, a fim de proteger a base e aumentar a sua vida útil. Ainda com relação a presença de água nesta camada, a ABNT (2011) indica que o lençol freático deve se encontrar rebaixado no mínimo 1,5 m em relação a cota do pavimento acabado.

O reforço do subleito será necessário quando o solo da cota final de terraplanagem apresentar baixa qualidade, ou quando a estrutura estiver submetida a grandes cargas, ou ainda, a partir de uma combinação dos dois pontos (DNIT, 2010a). Com relação a este assunto, destaca-se que o material a ser utilizado para a execução da camada de reforço, deve apresentar características superiores às do solo do subleito, e ser executado sob a plataforma em largura igual à largura do subleito Marques (sd)⁴.

É de suma importância, tratar e compactar o subleito de modo que o bordo da camada esteja além das estruturas de confinamento. Tal condição se emprega também as camadas de base e sub-base.

b) Sub-base e Base

A execução dessas camadas deve ser acompanhada atentamente, de forma a se obter um bom acabamento na superfície destas, uma vez que pequenas variações provocam

interferências significativas no resultado final. A ABCP (2016a) indica que se deve atingir no máximo 10 mm de diferença entre o greide de projeto e o obtido em campo, e a espessura não deve variar mais que 10 mm em 2 m de extensão de camada. Destaca-se aqui, que este último fator irá provocar aumentos pontuais na espessura da camada de assentamento que virá sobre esta.

c) Contenções, Camada de Assentamento e Revestimento

A execução das contenções refere-se à realização das estruturas que irão garantir o confinamento do piso intertravado. Segundo a ABCP (2016b), a estrutura de confinamento deve ser executada antes do lançamento da camada de assentamento, e de modo a penetrar na base, formando um caixote para receber e a areia as peças de concreto.

É importante garantir, que estas estruturas permaneceram estáticas durante todo o processo de execução, de modo a assegurar que o sistema se mantenha confinado (SILVA, 2016). Caso ocorra o encontro do pavimento intertravado com outro tipo de pavimento, ou com uma via sem pavimentação, é preciso executar uma estrutura chamada de viga de confinamento de concreto, para manter o confinamento entre as peças. Esta viga deve ter 15 cm de largura, e 20 cm de profundidade abaixo da camada de assentamento (ABCP, 2016b).

A camada de assentamento exige cuidados importantes para que cumpra seu papel, e garanta boa parte do sucesso da estrutura. A areia a ser utilizada deve-se encontrar-se limpa e com um certo teor de umidade, de modo que não esteja seca nem sequer saturada. A espessura da camada deve ser constante, não devendo ser utilizada para corrigir irregularidades na superfície da base (ABCP, 2010).

O lançamento da areia é feito considerando a espessura final indicada em projeto para essa camada. Uma vez que após a compactações dos blocos de concreto a altura da camada de areia irá reduzir, a areia solta apresenta uma espessura maior que a do projeto. Após esta etapa a areia deve ser sarrafeada com réguas e mestras, de modo a regularizar a superfície para receber os blocos de concreto. Alguns cuidados como não pisar sobre o material, e não deixá-lo exposto de um dia ao outro, são importantes para a qualidade dessa estrutura.

Podendo-se fazer o assentamento das peças de concreto, entra-se em uma etapa delicada e importante. A marcação inicial para tal, é fundamental para o aspecto final que o pavimento irá apresentar, pois a primeira fileira será a guia de toda a superfície. Durante o assentamento dos blocos, é preciso deixar uma folga entre eles, que será posteriormente

preenchida com areia. Esta folga, denominada junta, possui dimensão definida, a (ABCP, 2010) traz que estas devem ter de 2,5 mm a no máximo 4 mm.

Além dessas considerações, a colocação das peças que formam a superfície do pavimento, deve seguir minuciosamente o padrão de assentamento estipulado no projeto. Além de garantir que o pavimento final resultará conforme esperado, irá auxiliar na execução dos arremates das peças que não serão possíveis de acomodar-se inteiras. É neste momento também, que se deve executar os contornos nas interrupções presentes.

Finalizando o posicionamento das peças, a etapa seguinte é a compactação da superfície. Esta deve ser feita com placas vibratórias em duas etapas, inicial antes do preenchimento das juntas, e a final, após a selagem das juntas. Essa divisão é importante, pois é através dessa compactação inicial, que a parte inferior das juntas são preenchidas com a areia da camada de assentamento que sobe no processo de compactação, iniciando o intertravamento dos blocos (ABCP, 2010).

Finalizada a compactação inicial, é feita a substituição dos blocos que sofreram alguma danificação durante o processo, e em seguida, aplica-se a areia das juntas sobre os blocos. Deve-se varrer, para que elas preencham os espaços entre eles e então fazer a compactação final. Após todos esses procedimentos, o pavimento pode ser imediatamente liberado para a circulação de veículos e pessoas.

As obras de pavimentação urbana, bem como as obras de infraestrutura no geral, estão muito interligadas entre si, o que exigem que elas conversem e estejam compatibilizados. Neste contexto de execução, em especial, é preciso atentar-se para o sequenciamento dos serviços. A execução das galerias pluviais e das redes de distribuição de água e coleta de esgoto, devem preceder a pavimentação das vias, uma vez que, a alternância dessa ordem, gera retrabalhos. Isso ocorre, pois, os serviços de escavações para a montagem das redes irá corromper o pavimento, principalmente as galerias pluviais, que seguem pelo eixo da via.

2.2 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Neste segundo momento da revisão da literatura, apresenta-se o segundo tema abordado neste trabalho. A apresentação do mesmo se dará dividida em quatro partes, sendo elas: contexto histórico e cenário atual, aspectos gerais e conceitos, métodos de dimensionamento, e processo executivo.

2.2.1 Contexto histórico e cenário atual

Bem como o pavimento intertravado, os relatos de uso de materiais betuminosos na pavimentação referem-se a Mesopotâmia, há cerca de 5000 anos a.C., como material ligante que recebia os tijolos de argila visando garantir a aderência. No entanto esse tipo de pavimento não foi muito utilizado, pois apresentava pequena durabilidade, devido ao intenso desgaste superficial provocado pelo tráfego. Desse modo, só foi empregado na ausência de materiais mais resistentes (CRUZ, 2003).

No início do século XIX, aparece na literatura um desenvolvimento dos ligantes betuminosos, que permitia a criação de pavimentos contínuos. Associado a isso, por consequência, tem-se nessa época uma diminuição no uso da pavimentação intertravada.

A execução do primeiro pavimento com revestimento betuminoso ocorreu em 1870, na cidade de Newark em Nova Jersey, Estados Unidos (BALBO, 2007). Este pavimento, assim como todos os outros até o início do século XX, não foram dimensionados. No entanto, desde então surgia a preocupação em se observar os pavimentos, o que incentivou o desenvolvimento de diversas pesquisas e órgãos responsáveis por normatizar todos os aspectos relacionados à pavimentação. Alguns dos principais órgãos são: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Highway Research Board (HRB), United States Army Corps of Engineers (USACE), California Division of Highways e Portland Cement Association (PCA). É importante destacar, que os estudos desenvolvidos por esses órgãos não consideram o solo e clima do Brasil, no entanto, o uso destes ainda é recomendado.

Em 1920 também nos Estados Unidos, em Illinois, desenvolveu-se ensaios rodoviários em escala real, onde construíram-se pavimentos de diversos materiais. Este estudo apresentou uma das primeiras indicações das espessuras dos pavimentos. Como resultado, obteve-se uma espécie de catálogos de estruturas de pavimentos. No entanto, a abordagem genérica destes, incentivou o desenvolvimento de métodos que consideravam pelo menos a resistência do solo de fundação (BRANCO, PEREIRA, e SANTOS, 2016).

No final da década de 1920, O. J. Porter desenvolve a primeira curva de dimensionamento de pavimentos flexíveis, com base em ensaios realizados pela Califórnia Division of Highways, que indicava a espessura necessária para o pavimento, em função do CBR do subleito. Vinte anos mais tarde, em 1940, Donald M. Burmister apresentava equações matemáticas que permitiam o cálculo das tensões e deflexões em pavimentos flexíveis. Estas

equações foram de grande importância para divulgar a necessidade de se tratar o pavimento como um sistema de múltiplas camadas (COUTINHO, 2011).

Com a Segunda Guerra Mundial, os aeródromos passaram a ser solicitados com cargas acima das que haviam sido previstas, o que estava provocando rupturas nos pavimentos. Tal situação impulsionou a inserção de uma nova condição nos métodos de dimensionamento: a carga por roda. Para tanto, foi preciso estudar o efeito das repetições das cargas na capacidade de suporte do pavimento (BRANCO, PEREIRA e SANTOS, 2016).

No final da década de 1950, a American Association of State Highway Officials (AASHO) desenvolveu o maior experimento rodoviário da época, com o objetivo de definir uma metodologia de dimensionamento de pavimentos rodoviários. O experimento foi chamado de “AASHO ROAD TEST”.

Um pouco mais tarde, em 1962 na Universidade de Michigan, ocorre a conferência “The International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements”. Nesta, discutiram-se os dados encontrados no teste da AASHO e tratou-se da evolução do dimensionamento dos pavimentos asfálticos pelo mundo. As considerações mecânicas na metodologia de dimensionamento de pavimentos asfálticos utilizadas hoje em dia, partiram dessa conferência.

Conforme descreve (BRANCO, PEREIRA e SANTOS, 2016) esta foi a primeira edição da conferência, que se repetiu regularmente por várias vezes. Destaca-se aqui, que o que diz respeito a evolução dos processos de dimensionamentos dos pavimentos dos últimos 40 anos, tem sido apresentado nas notas divulgadas pela conferência.

No Brasil, conforme Monteiro (1996 apud COUTINHO, 2011), a execução dos pavimentos asfálticos se intensificou na década de 1950, com a pavimentação da antiga BR-5, sobre supervisão do engenheiro americano William Haynes Mills. Nesta mesma década, o engenheiro Murilo Lopes de Souza, a partir dos conhecimentos que já se tinha sobre CBR e Índice de Grupo (IG), propôs um novo método de dimensionamento, que sofreu algumas reformulações alguns anos depois, em 1981 e 1996, e é utilizado ainda hoje no dimensionamento de pavimentos asfálticos pelo Brasil. Esse método é conhecido como Método do DNER.

No âmbito da pavimentação asfáltica, os estudos mais recentes têm procurado inovar no que diz respeito ao material que dá origem ao revestimento. Neste sentido, tem se apresentado alternativas como os Asfaltos Modificados por Polímero e o Asfalto-borracha. O

primeiro se refere a adição de polímeros, geralmente o Estireno-butadieno-estireno (SBS), ao cimento asfáltico de petróleo (CAP), resultando em um produto homogêneo, com uma única fase. Segundo Zagonel (2013) a adição desse material, conforme pode ser observado em laboratório, confere maior consistência e aumento da capacidade de recuperação elástica ao CAP.

Quanto ao asfalto-borracha, um dos principais pontos levantados, é a oportunidade que oferece de se destinar corretamente pneus não mais passíveis de rodagem. Além desse aspecto ecológico de grande peso, a adição da borracha moída dos pneus, melhora significativamente as propriedades e desempenho do pavimento asfáltico.

Segundo o DNIT⁵, deve-se passar a utilizar um novo método de pavimentação asfáltica para dimensionar as rodovias. O método será chamado de Medina, em homenagem ao engenheiro Jacques de Medina, e foi desenvolvido a partir de uma parceria entre a COPPE e a Rede Temática de Asfaltos. O DNIT está realizando as críticas e sugestões ao método, para submetê-lo a aprovação e colocá-lo em vigor. O método utilizado atualmente, ainda da década de 1960, não prevê o uso de tecnologias como as citadas acima, o asfalto de borracha e os modificados por polímero. Além disso, conforme citado previamente neste tópico, não considera as variações climáticas. Esta nova proposta, passa a analisar as diferentes condições do país.

A Rede Temática de Asfaltos pavimentou em 2009 diversos trechos de rodovias em todo o país, em regiões com condições climáticas distintas. O método foi desenvolvido a partir das diversas soluções adotadas para esses trechos e do monitoramento realizado. Outro ponto de destaque, é que a nova ferramenta pode ser utilizada tanto para o dimensionamento, quanto para o reforço de estruturas já existentes, e pode ainda, indicar o revestimento que apresentará o melhor desempenho. Do ponto de vista financeiro, o custo para a implementação é alto, mas o DNIT justifica a implantação, com a capacidade do método de prever quando irão surgir as fissuras, oferecer uma maior vida útil ao pavimento, e uma menor frequência de manutenção.

2.2.2 Aspectos gerais e conceitos

Os pavimentos asfálticos são formados por camadas com deformações elásticas consideráveis. O que implica que sob a ação de uma carga, todas as camadas se deformam

⁵ Brasil Caminhoneiro. Disponível em: <http://brasilcaminhoneiro.com.br/dnit-deve-implementar-novo-metodo-de-pavimentacao-de-rodovias/>, Acesso em: 30 mar. 2019.

proporcionalmente a sua rigidez (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2017). O concreto asfáltico produzido através da usinagem a quente, chamado devido a isso de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), é o revestimento mais nobre, durável, e que propicia as melhores condições de conforto ao usuário. Mas por outro lado, possui um custo elevado para execução.

Assim como foi apresentado inicialmente para o pavimento intertravado, os pavimentos asfálticos também são constituídos por algumas camadas responsáveis pela estruturação do pavimento. Apresentam as camadas de subleito, sub-base, base, e reforço do subleito, quando assim for necessário. As diferenças que se notam aqui, estão relacionadas com a camada de revestimento. Enquanto no intertravado os pavers exigem uma camada de assentamento formada por areia, sobre a qual são posicionados, os pavimentos aqui referidos possuem a camada superficial de rolamento executada diretamente sobre a superfície da base.

No que se refere a camada de revestimento propriamente dita, no pavimento intertravado esta é construída a partir das peças pré-moldadas, sendo apenas posicionadas no local no momento da execução. Ao contrário disso, o revestimento asfáltico ganha forma *in loco*.

O revestimento asfáltico é formado a partir da associação de agregados e materiais betuminosos. Esta interação entre os materiais pode se dar por penetração, direta ou invertida, e por mistura. A penetração consiste em penetrar o ligante betuminoso entre os agregados. Esta será direta ou invertida, a depender da ordem em que os materiais forem aplicados. Fazendo-se primeiramente o espalhamento do agregado sobre a superfície que será pavimentada, e em seguida aplicando-se o material asfáltico, tem-se a penetração direta. Quando na execução é aplicado primeiramente o asfalto e em seguida o material agregado, denomina-se penetração invertida (CARVALHO, 1998).

Ao contrário do processo anterior, em que os materiais são postos em interação no momento da aplicação, nas misturas, os agregados e o material betuminoso são associados previamente nas usinas, ou na superfície de aplicação, porém em conjunto, diferente da penetração. As misturas podem ser de dois tipos, em função do tipo de ligante empregado, sendo o material ligante um cimento asfáltico de petróleo, os agregados devem ser aquecidos previamente, para que possam ser envolvidos pelo ligante. Caso este seja emulsão asfáltica, tem-se as misturas a frio Motta *et al* (2006).

Segundo Motta *et al* (2006), o comportamento dos pavimentos está diretamente relacionado com as espessuras das camadas, com a rigidez destas, definida pelos materiais constituintes de cada uma, e ainda, do resultado de todas elas trabalhando em conjunto. Relacionado a isso, os autores colocam que os revestimentos estão no geral solicitados a tração e compressão devido a atuação da flexão, e as camadas subjacentes, ficam solicitadas principalmente a compressão.

Outro aspecto importante relacionado ao comportamento estrutural dos pavimentos é a rigidez que eles apresentam. Este fator, está diretamente relacionado com as condições climáticas locais. As variações de temperatura sentidas durante o dia, bem como as sazonalidades, provocam variações na rigidez (MEDINA; MOTTA, 2015).

Várias condicionantes permeiam o bom desempenho dos pavimentos, algumas com maior significância, outras menos, mas a interação de todas elas refletem as condições dos pavimentos. Segundo Gonçalves (1999)⁶ a quantidade de solicitações e as intensidades destas, as propriedades dos materiais que constituem as camadas estruturais, a capacidade de carga do solo do subleito, o tipo e intensidade das manutenções, além da drenagem da superfície de revestimento, são os fatores que mais interferem no desempenho eficaz dessas estruturas.

Diretamente relacionado a este bom desempenho, estão as características superficiais dos pavimentos. Estas devem oferecer condições de tráfego seguro, e uma superfície antiderrapante, que permita boa interação dos pneus com a pista. Conforme coloca Branco *et al* (2016), isto é possível através do estabelecimento de coeficientes de atrito adequados para a relação pneu-asfalto.

No âmbito do dimensionamento, os pavimentos são projetados de modo a atender o tráfego dos veículos dentro do período de projeto estipulado. O grande desafio neste contexto, é associar os materiais adequados a atender as condições estruturais com a disponibilidade local, e ainda, garantir as condições de bom desempenho em quaisquer condições climáticas. Um pavimento bem dimensionado, não apresenta deformações excessivas para as solicitações que estavam previstas, e não exigem reparos precocemente. Para tanto, Motta *et al* (2006) indica que é preciso conhecer bem as propriedades dos materiais, a resistência a ruptura, permeabilidade e deformabilidade, quando sujeitos a ação de cargas repetidas, e submetidos a ação climática.

⁶ Gonçalves, F. P. **Apostila: O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. 1999.

Com relação aos defeitos dos pavimentos, alguns conceitos importantes serão explanados a seguir:

a) Deformação permanente

Trata-se de deformações irreversíveis. Estas podem ser observadas sem o auxílio de instrumentos nos locais mais solicitados dos pavimentos, por exemplo nos corredores de ônibus urbanos e nas estradas nas trilhas de rodagem dos caminhões. Diante da importância desse efeito, simulações em laboratório têm sido feitas para estudá-lo. A grande dificuldade aqui, é a dosagem das misturas asfálticas de modo que resistam as solicitações de tráfego e as ações climáticas. Medina e Motta (2015) trazem que o afundamento tolerado nas pistas é da ordem de 10 mm e 16 mm, para estradas com circulação intensa de veículos, e estradas com um menor volume de tráfego respectivamente. Chegando a 20 mm, é preciso reparo imediato.

b) Fadiga e trincas

O efeito da fadiga, é definido por Gonçalves (1999, p. 68)⁵ como sendo um efeito “Decorrente da passagem repetida das cargas dos veículos, causando a ruptura da camada após determinado número de ciclos”. Desse modo, a ocorrência da fadiga encontra-se diretamente associada as deformações permanentes e rupturas plásticas.

O trincamento do revestimento betuminoso é o defeito mais comum dos pavimentos asfálticos brasileiros. Tal cenário pode ser motivado pelas grandes oscilações climáticas da localidade, o que potencializa as ações das trincas. O grande problema das trincas, é que estas permitem a passagem de umidade de origem pluvial para a superfície da base, o que sob a ação dos veículos pode fragilizar a estrutura do pavimento e provocar erosões Branco *et al* (2016).

2.2.3 Métodos de dimensionamento

Bem como foi mencionado para os pavimentos intertravados, os pavimentos flexíveis também podem ser dimensionados de acordo com uma série de métodos diferentes. Os métodos mais antigos, em geral se baseavam nas características físicas e/ou mecânicas do solo, por exemplo, o Método do Índice de Grupo –IG, e o método do CBR, respectivamente.

Tem-se ainda, os que utilizavam da combinação dessas características, como o Método Antigo do DNER-1961, desenvolvido pelo engenheiro Murilo Lopes.⁷

Por outro lado, observa-se que os métodos mais atuais vão além dos condicionantes físicos e mecânicos dos solos que irão compor o pavimento, considerando conjuntamente, os índices pluviométricos da região e o tráfego que será imposto à estrutura. Dentre estes denominados métodos novos, está o Método do DNIT, exposto no Manual de Pavimentação desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Rodoviária Publicação (IPR) na publicação 719, tratando-se do método mais utilizado nas práticas comerciais (DNIT, 2006a).

O método do DNIT acima mencionado, foi utilizado no dimensionamento das vias do condomínio horizontal, objeto de estudo da segunda etapa deste trabalho. Como não será desenvolvido aqui o dimensionamento asfáltico com base neste método, pois este já existe e consta em sua totalidade no Memorial Descritivo presente no Anexo A, o método será abordado neste item brevemente.

Foi desenvolvido com base nos estudos realizados pelo corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos, e nas conclusões obtidas no experimento da pista da AASHTO, já mencionada inicialmente. O método considera o tráfego a atuar sobre a pista no dimensionamento, sendo tal fator ponderado ao se determinar o número de solicitações equivalente ao eixo padrão, denominado número N, conceito equivalente ao que foi descrito para o pavimento intertravado (DNIT, 2006a).

Destaca-se aqui, que o manual do DNIT (2006a), indica o cálculo do número N, a partir do volume total de tráfego. No entanto, o memorial descritivo do Anexo A, utilizou da IS-IP-02 Classificação de Vias da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (SIURB) da PMSP, para caracterizar o tráfego local e definir este índice.

Com base na experiência da AASHTO, o método adota alguns coeficientes de equivalência estrutural, para os materiais que irão compor o pavimento, estes são conhecidos como K_r , K_b , K_s e K_{ref} , respectivamente para os materiais do revestimento, base, sub-base e reforço do subleito (DNIT, 2006a).

Estando de posse do número N, e conhecendo os valores dos CBR's, através de análises gráficas, determina-se a espessura total que o pavimento deverá apresentar. Dada a

⁷ Notas de Aula da Disciplina de Pavimentação – Professor: Ricardo Alves Cardoso – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiás.

espessura total, as alturas de cada camada serão obtidas a partir da resolução de inequações sequenciais, com exceção do revestimento, cuja espessura é definida por uma tabela, em função do número N (DNIT, 2006).

2.2.4 Processo Executivo

No tocante a execução dos pavimentos asfálticos, declara-se inicialmente que as camadas de subleito, sub-base e base, serão tratadas e executadas seguindo os mesmos procedimentos descritos no item 2.1.4, referente a execução dos pavimentos intertravados. Portanto, neste item apresentar-se-á aspectos relativos à execução da imprimação, e da camada de rolamento asfáltica, cuja execução difere do que foi descrito para a superfície de rolamento formada pelos blocos de concreto.

As misturas asfálticas são compostas de agregados (com diferentes frações granulares) e ligantes asfálticos, adequadamente dosados, que devem formar uma massa homogênea. O bom desempenho dessa camada, depende da escolha correta dos materiais constituintes, bem como da proporção dosada para cada um, e ainda, das boas técnicas de produção e execução (DNIT, 2006b).

Um ponto importante relacionado a execução do revestimento asfáltico, diz respeito a temperatura. Esta deve ser observada em diversas etapas do processo, desde a estocagem e usinagem dos ligantes, à aplicação da massa, uma vez que o aquecimento acima do indicado, provoca a perda das características aglutinantes dos ligantes Motta *et al* (2006). Em campo, esta checagem pode ser realizada com a utilização de termômetros digitais.

As misturas asfálticas produzidas nas usinas chegam às obras transportadas por caminhões basculantes, que irão descarregar nas vibroacabadoras, responsáveis pela aplicação do material, conforme é representado na Figura 12. É importante que alguns fatores sejam controlados em campo para o bom andamento da frente de serviço, como por exemplo, a quantidade de caminhões necessários, a distância da usina à obra, o tráfego da região, e a velocidade de descarga, para que se programe o intervalo de saída dos caminhões da usina.

Ainda relacionado aos aspectos de planejamento da execução, é necessário delinear o sequenciamento e continuidade da aplicação do revestimento, posto que a ausência dessa gestão, pode gerar um acabamento superficial de baixa qualidade, com remendos e aspecto estético desagradável.

Como dito, a temperatura é um dos fatores com que se deve ter atenção especial, tratando-se, portanto, de uma das razões de recusa de recebimento do material na obra. Estando a temperatura acima ou abaixo da indicada para trabalho, o responsável por acompanhar o serviço deve rejeitar a mistura. Além deste, o excesso ou falta de ligante, de agregados graúdos e miúdos, a presença de materiais contaminantes, a umidade alta e a segregação dos materiais, também provocam a condenação do material, conforme coloca Motta et al (2006).

A mistura asfáltica só deve ser aplicada sobre a base, após o processo de imprimação, que consiste na aplicação de uma mistura asfáltica sobre a superfície de base pronta, com o intuito de propiciar coesão superficial, de modo a facilitar a adesão entre esta e o revestimento a ser aplicado. Além disso, esse processo confere impermeabilização a camada de base, e pode ser executado utilizando-se o CM-30, em conformidade com a norma DNER – EM 363/97, ou a emulsão asfáltica do tipo EAI, consoante à norma DNIT 165/2013 – EM (DNIT, 2014).

Figura 12 - Aplicação de massa asfáltica



Fonte: Autoria própria

Com relação a execução, o DNIT (2014) traz as indicações necessárias à um procedimento correto, e pontua as seguintes temáticas:

- a) Não deve ser feita a aplicação do ligante asfáltico em dias com temperatura ambiente abaixo de 10°C, sob condições de precipitação, ou ainda, no caso de sinais de excesso de umidade na superfície da base.
- b) O emprego do mesmo só deve ser feito mediante a varredura da base, manual ou mecanicamente, para retirar totalmente os materiais soltos que possam estar sobre ela.
- c) Estando a base preparada, o ligante é aplicado de forma uniforme, na temperatura e quantidades adequadas.
- d) Não deve ocorrer excesso de aplicação do ligante no início e fim dos trechos, devendo estes estar claramente delimitados aos operadores que conduzirão os carros distribuidores de ligante.
- e) A largura total da pista deve ser feita no mesmo turno de trabalho, devendo ficar fechada ao tráfego de veículos se possível for. Não sendo possível, a indicação da norma é que a base não fique exposta ao tráfego por mais de 30 dias.

Estando a imprimação da base executada, a liberação para a aplicação do revestimento asfáltico, é feita mediante a conferência desta camada, que o receberá. Está, portanto, deve apresentar superfície regularizada, na cota correta, e com as mesmas condições de abaulamento e declividades que o pavimento acabado apresentará, não podendo haver falhas na imprimação. Enfatiza-se aqui, que a massa asfáltica não deve ser utilizada para corrigir desníveis e irregularidades presentes na camada sobre a qual é depositada, devendo sua espessura se manter constante por toda a seção.

A execução da superfície asfáltica se dá mediante o lançamento do material nas vibroacabadoras, como dito inicialmente, que se deslocam pela superfície, dando forma ao pavimento acabado. No momento da aplicação, a espessura deve ser constantemente conferida através de galga.

Finalizada a aplicação da capa asfáltica, a etapa seguinte consiste na compactação do material. Motta *et al* (2006) apresenta que este processo aumenta a estabilidade do material, sua vida útil, diminui a presença de vazios, e além disso, contribui com as atribuições estéticas, gerando superfícies suaves e desempenadas. Nesta etapa, deve-se atentar a quantidade de passagens que devem ser dadas no trecho, e a velocidade de circulação dos rolos, a fim de atingir a compactação desejada,

2.3 ASPECTOS URBANÍSTICOS E AMBIENTAIS DE PAVIMENTOS VIÁRIOS

O crescimento e desenvolvimento dos centros urbanos de modo descontrolado e sem planejamento, tem favorecido a emergência de uma série de problemas ambientais neste meio, como por exemplo, a ocorrência de enchentes e alagamentos, a formação das ilhas de calor, as inversões térmicas, o agravamento do efeito estufa, dentre outras inúmeras condições. Neste contexto, vários fatores vêm colaborando com a progressão dos efeitos citados, e o pavimento empregado nas ruas e áreas urbanas em geral, pode ser um deles.

Diante da possibilidade de influenciar negativamente várias questões ambientais, é preciso atenção ao emprego da pavimentação. Isto posto, coloca-se que o pavimento intertravado pode ser visto como uma maneira de minimizar a agressão ambiental provocada por essas estruturas, necessárias ao tráfego de veículos e pedestres.

A ABCP (2004) indica que o pavimento intertravado oferece um conforto térmico maior que os pavimentos asfálticos. Tal colocação é evidenciada com a apresentação de uma medição direta de temperatura, realizada sob uma superfície asfáltica e outra intertravada. Os pontos onde foram feitas as medições, distanciavam-se apenas de 100 metros um do outro, e como resultado, obteve-se que o piso intertravado apresentou uma temperatura superficial de 17°C a menos que o asfalto. Esta diferença significativa, é resultado da maior reflexão que este apresenta, conforme será visto adiante, o que diminui o aquecimento superficial da estrutura.

Além desse aspecto relacionado ao conforto térmico, esse tipo de pavimento corrobora ainda com outros fatores ambientais, favorecendo uma aproximação à sustentabilidade. Godinho (2009) traz que para a produção das peças pré-moldadas de concreto, são utilizados como matéria prima, materiais mais abundantes na natureza e que cuja a obtenção, além de exigir um menor consumo de energia, pode ser feita de fôrma menos agressiva e definitiva do que ocorre para as explorações de petróleo, que darão origem a matéria prima dos pavimentos asfálticos.

Ainda relacionado aos aspectos energéticos, as peças pré-moldadas de concreto são colocadas como um ponto de equilíbrio, por apresentar uma relação custo/benefício muito favorável. Stark (1986 apud GODINHO, 2009), apresenta que o pavimento intertravado condiciona 30% a mais de reflexão da luz que o asfáltico, oferecendo-se, portanto, como uma fonte de economia de energia elétrica nas iluminações públicas.

Reafirmando o exposto anteriormente, indica-se a colocação da ABCP (2004) com relação ao fator de luminância dos pavimentos. Enquanto para as superfícies asfálticas este

índice é de apenas 0,07, o bloco de concreto na cor cinza escuro apresenta fator de luminância 0,15, sob a luz do dia, e 0,14 sob luz artificial.

Outra análise que pode ser feita dentro deste contexto, refere-se ao escoamento superficial que cada estrutura condiciona. Os pavimentos asfálticos apresentam uma superfície totalmente impermeável, onde praticamente a totalidade da água oriunda da precipitação que incide sobre ele, irá compor o escoamento superficial. Por outro lado, o pavimento intertravado, é indicado por Carvalho (2011), como uma superfície semi-permeável, capaz de acumular água nos poros das peças (que será posteriormente evaporada), diminuindo a quantidade de água que irá escoar superficialmente.

As peças de concreto podem atuar ainda de fôrma ambientalmente positiva, através da reciclagem de materiais, absorvendo os resíduos de concreto da construção civil, e empregando-os na fabricação das peças. Butler (2003 apud CARVALHO, 2011) diz que tal aplicação é possível e viável, pois as propriedades do concreto permanecem satisfatórias.

Do ponto de vista urbanístico, a pavimentação intertravada oferece aos profissionais deste ramo um leque amplo de aplicações, além de permitir a combinação entre sua função estrutural e o paisagismo local. Godinho (2009) diz que essa estrutura pode ser empregada tanto em locais com pequenas solicitações de carga, como calçadas, parques, praças, pátios de estacionamento, acostamentos, como locais com maiores solicitações, como é o caso de regiões portuárias, avenidas e até mesmo rodovias.

A utilização das peças de concreto confere ao ambiente um aspecto agradável, que rompe com a monotonia gerada pelo asfalto, empregado quase que na totalidade das vias urbanas. O emprego dessa forma de pavimentação, principalmente nas áreas de recreação como parques e praças, contribui com o paisagismo e urbanismo da cidade. Além disso, a fabricação de peças coloridas oferece ainda, a possibilidade de utilizar-se destas para conceber a sinalização horizontal, colaborando para os aspectos estéticos do ambiente.

2.4 ESCOLHA DO TIPO DE PAVIMENTO

De modo geral, todos os serviços que se pretende executar, permitem que se escolha entre as diversas soluções possíveis, ou entre dois ou mais materiais cabíveis de se empregar, de modo que se obtenha o melhor resultado possível. Com a pavimentação não é diferente, cada situação faz com que determinada escolha seja mais viável técnico, estruturalmente e economicamente. Diante disso, faz-se necessário avaliar as vantagens e desvantagens de cada estrutura, analisa-las criticamente, e então optar-se pela que melhor atende as solicitações.

Neste contexto, apresenta-se abaixo uma comparação entre os pavimentos asfálticos e os pavimentos intertravados.

2.4.1 Vantagens e desvantagens

A análise relacionada às vantagens e desvantagens de cada tipo de pavimento será apresentada a seguir, analisando-se os aspectos executivos, as características estruturais, o material que irá formar a superfície de rolamento propriamente dita de cada estrutura, e por fim, aborda-se o assunto do ponto de vista da manutenção exigida por cada um.

2.4.1.1 Execução

Com relação aos aspectos executivos, o emprego da pavimentação intertravada apresenta inúmeras vantagens à asfáltica. Algumas dessas são listadas por Carvalho (2011), que aponta fatores como o emprego de mão de obra mais simples, bem como a simplicidade maior de execução, e a possibilidade de realizar o controle tecnológico das peças na fábrica, o que permite aplicação direta na obra, sem conferências *in loco*. Além disso, essa estrutura permite que caso seja necessário futuramente executar-se redes subterrâneas, este serviço será mais fácil e menos oneroso. Por outro lado, o autor destaca que os revestimentos asfálticos são aplicados com maior velocidade (se comparado ao assentamento manual das peças, mais comum que o emprego de máquinas para a realização deste serviço), e com uma escala menor de mão de obra.

Acrescenta-se aqui, as colocações de Godinho (2009), que apresenta algumas desvantagens do piso intertravado. Segundo o autor, essa estrutura exige um controle geométrico minucioso, uma vez que o arranjo geométrico inadequado no assentamento, compromete a funcionalidade das juntas, bem como o desnivelamento revela-se como a principal fonte de problemas futuros, e ainda, as contenções laterais mal executadas que provocarão a perda do intertravamento. Além disso, o autor coloca a limitação com relação ao emprego em áreas submetidas água em alta pressão, pois esta irá lavar a areia de selagem das juntas, comprometendo o pavimento.

2.4.1.2 Estrutural

Do ponto de vista estrutural, segundo as colocações feitas por Carvalho (2011), observa-se a maior parte das vantagens a favor do pavimento intertravado. Para este, enquanto a resistência aumenta com o tempo, devido a acomodação das peças no colchão de areia, nos pavimentos asfálticos a resistência diminui com o avanço da idade da estrutura, o que faz com

que esse tipo, tenha uma vida útil menor que a prevista em projeto, o que não ocorre para o intertravado.

Além disso, no que diz respeito aos defeitos, enquanto o intertravado apresenta o afundamento dos blocos de concreto, que não comprometem tanto o tráfego dos usuários, no asfalto irá ocorrer a formação das panelas (buracos), que prejudicam muito a circulação pela via.

Um ponto de grande relevância destacado por Godinho (2009), diz respeito ao fato de os pavimentos intertravados, devido a sua composição estrutural, não permitirem a propagação das trincas que por ventura ocorram na superfície da base para a superfície de rolamento. De maneira oposta, a formação estrutural dos pavimentos asfálticos não permite que eles se comportem de forma equivalente.

Por fim, relacionado ao comportamento estrutural dos pavimentos, coloca-se a vantagem que a superfície intertravada apresenta sob a asfáltica, pois a primeira pode ser liberada ao tráfego imediatamente após a finalização do assentamento dos blocos (GODINHO, 2009).

2.4.1.3 *Material*

Com relação ao material que forma as superfícies de rolamento propriamente ditas em cada caso, observa-se que os blocos de concreto podem ser facilmente armazenados nos canteiros de obra, sendo utilizados quando necessário, não se tratando, portanto, de um elemento perecível, como é o caso da massa asfáltica (CARVALHO, 2011). Essa possibilidade de estocar o material, além de oferecer condições de se contornar algum imprevisto em campo, evita os transtornos e dificuldades de programação de entrega junto as usinas asfálticas.

Além disso, os blocos de concreto proporcionam melhores condições de segurança ao tráfego, por apresentarem maior resistência a derrapagem e à aquaplanagem. Por outro lado, o tráfego sob velocidade acima de 60Km/h provoca ruídos, o que praticamente não se observa no asfalto. Neste mesmo sentido, inclui-se que para velocidades acima de 70Km/h sobre os blocos de concreto, o conforto de rolamento dos usuários fica comprometido (GODINHO, 2009). Além disso, o pavimento asfáltico torna-se vantajoso quando se analisa o custo do revestimento, que para este é menor (CARVALHO, 2011).

2.4.1.4 Manutenção

Com relação a manutenção, as vantagens do pavimento intertravado são incontestáveis. Quando danificados, os blocos podem ser facilmente retirados e substituídos por novos, em uma manutenção simples, que não exige grande mobilização. O resultado é um pavimento idêntico ao inicial, sem remendos ou reparos executados fora das condições ideais. Essa situação não é possível no asfalto, que irá exigir a mobilização da equipe de “tapa buracos”, ocasionando remendos e reparos no geral, sem qualidade.

Do ponto de vista financeiro, as manutenções sobre os intertravados são em sua totalidade mais baratas, pois permitem a reutilização das peças, quando for necessário executar serviços subterrâneos.

2.5 ORÇAMENTAÇÃO

A segunda parte deste trabalho, envolve a elaboração, análises e comparações orçamentárias. Em vista disso, neste item será feita uma rápida abordagem deste assunto, e a apresentação de alguns conceitos importantes para o desenvolvimento do trabalho posteriormente.

Entende-se por orçamentação o processo de determinação dos custos prováveis de execução da obra. O resultado deste processo, é chamado de orçamento, e em geral, se manifesta por meio das planilhas orçamentárias (MATTOS, 2006). É um processo de grande significância para o bom andamento da obra, que envolve certa habilidade técnica, e exige conhecimentos detalhados acerca do serviço que deve ser executado. Além disso, para um bom orçamento, é preciso dominar a dificuldade de cada etapa da execução, para consequentemente ser assertivo nos custos finais.

Nas planilhas orçamentárias serão apresentados os quantitativos extraídos dos projetos e planilhas de especificações, bem como os valores unitários para a execução de cada serviço, e, por conseguinte, o valor total da obra. Destaca-se que não só os quantitativos serão decisivos para o valor final, este dependerá conjuntamente do prazo disponível para execução, dos demais planejamentos do executor, e ainda, da metodologia adotada para a execução da obra.

Tavares *et al* (2005, p.25) define que “orçamento de obras consiste na determinação do custo de uma obra, antes de sua execução, elaborado com base no projeto, memorial descritivo, desenhos e especificações, considerando-se todos os custos diretos e indiretos.

Dentro da engenharia, pode-se ter diversos tipos de obras, como por exemplo, obras prediais, obras de infraestrutura, obras de arte, reformas, entre outras. Cada uma delas contém as suas especificidades e pontos críticos, exigindo análises diferentes dos orçamentistas, que representam exatamente o sucesso ou insucesso do resultado final. Neste contexto, destaca-se aqui, que na pavimentação, tipo de obra abordada neste trabalho, os orçamentos precisam considerar alguns fatores nem sempre quantificáveis e previsíveis, como o período chuvoso, as condições dos solos com que se trabalhará, e a disponibilidade de material, por exemplo.

Segundo Mattos (2006), o orçamento se baseia em previsões, e, portanto, trata-se de uma aproximação. Tal aproximação, varia de acordo com alguns itens, são eles: mão de obra, material, equipamento, custos indiretos e imprevistos.

- a) A mão de obra é um fator de variação pois depende da produtividade das equipes, e dos encargos sociais aplicáveis.
- b) Os materiais também representam oscilações no orçamento, pois os preços dos insumos variam durante o período de cotação e a compra de fato para a execução, bem como os impostos incidentes sobre eles. Além disso, as perdas consideradas durante a elaboração do orçamento, podem não representar a realidade, podendo tanto ser necessário complementar o material, ou ter-se sobras. Da mesma maneira, o reaproveitamento previsto pode também não ser realista.
- c) Os equipamentos são pontos de inconstâncias pois dependem do custo horário, e da produtividade (MATTOS, 2006). Tais circunstâncias interferem pois dizem respeito à disponibilidade mecânica, ou seja, o tempo que este de fato está em condições de uso, e ainda, a consideração do tempo disponível que o equipamento realmente trabalha.
- d) Os custos indiretos provocam flutuações, pois é a parte do orçamento onde são embutidos os salários dos trabalhadores, os encargos, e as despesas gerais, como os gastos com a manutenção do canteiro de obras, fretes, entre outros.
- e) Quanto aos imprevistos, trata-se de uma margem de segurança para arcar ocorrências fora do esperado, como retrabalhos, ou serviços perdidos por fenômenos naturais quaisquer.

De modo geral o orçamento deve englobar todos os serviços da obra, os custos diretos, gastos com mão de obra, equipamentos, impostos, custos indiretos e os lucros para a execução dos mesmos.

2.5.1 CONCEITOS IMPORTANTES

Para a elaboração de bons orçamentos, é preciso conhecer e dominar conceitos relacionados ao assunto. Dentre eles, serão apresentados alguns a seguir:

2.5.1.1 *Custo direto*

Tavares *et al* (2005, p.25) define como custo direto, “o custo resultante da soma dos gastos com os materiais aplicados, com a mão de obra empregada e com a dos equipamentos utilizados, diretamente na execução da mesma.”. Um fator importante deste custo, é a consideração da incidência dos encargos sociais sobre os gastos com mão de obra.

2.5.1.2 *Custo indireto*

Refere-se aos gastos desvinculados aos serviços diretos, porém que recaem sobre a execução de modo global. Trata-se por exemplo dos custos com mobilização e desmobilização, a alimentação dos funcionários, manutenção do canteiro de obras, entre outros. Neste grupo, serão considerados também os impostos, como COFINS e ISS (TAVARES *et al*, 2005).

2.5.1.3 *Bonificação e despesas indiretas (BDI)*

Diferentemente dos conceitos anteriores, o BDI não representa um valor monetário. Trata-se de um fator de majoração, expresso em porcentagem, a ser aplicado sobre os custos diretos, para diluir os gastos com os serviços indiretos, o lucro almejado, e os impostos incidentes.

2.5.1.4 *Composições de custo*

Elaborar a composição de custo significa determinar os gastos necessários para a execução de uma unidade de determinado serviço (MATTOS, 2006). Para tanto, devem ser considerados todos os insumos, que abrangem no geral, mão de obra, material, equipamentos e indiretos. É importante que se atente para as unidades definidas para os insumos, bem como para o serviço a ser executado, de modo que estejam compatíveis, e permitam gerar-se um valor real.

Costuma-se calcular e expressar as composições de custo através de tabelas, onde listam-se todos os insumos, suas respectivas unidades, custos unitários, custos totais e os índices, valores que representam a incidência de cada insumo na execução de uma unidade de serviço (MATTOS, 2006). O resultado final esperado destas planilhas, é a obtenção do custo

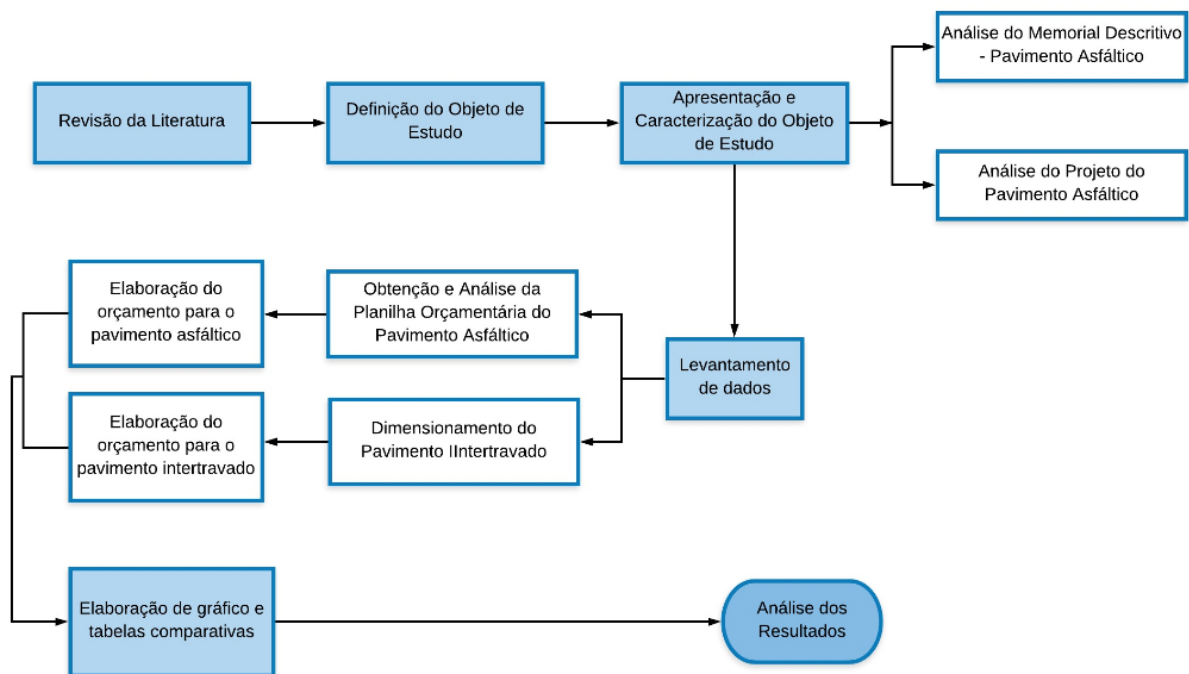
unitário para a execução do serviço, de modo que este possa ser usado na planilha orçamentária, para a determinação do custo total da obra.

Algumas empresas possuem hoje bancos de dados para gerarem suas próprias composições, com base nas suas produtividades, consumos, etc., no entanto, as que não dispõem de tais informações, podem recorrer a fontes de domínio público, como as Tabelas de Composições de Preço para Orçamentos (TCPO), SINAPI e GOINFRA, para extraírem as composições, e as utilizarem na elaboração de seus orçamentos.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo está detalhado a metodologia desenvolvida para se alcançar os objetivos principais e secundários propostos. A Figura 13 detalha o fluxograma das atividades para a conclusão do trabalho.

Figura 13 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autoria própria

Para este trabalho, o material de embasamento para a revisão da literatura foi obtido em diversas fontes. De início, recorreu-se as plataformas e banco de dados como a Scielo e ScienceDirect, a fim de se inteirar sobre as pesquisas desenvolvidas nesta área de conhecimento. Esta primeira fonte gerou algumas limitações, pois boa parte do material relacionado não estava disponível para download, inviabilizando o estudo dos textos.

Em um segundo momento, recorreu-se ao Google Acadêmico, em busca de teses, artigos e dissertações relacionadas ao assunto, o que permitiu ampliar o conhecimento relacionado as pesquisas acadêmicas que vêm sendo desenvolvidas nesta área. Nesta fase, procurou-se também pelas fontes bibliográficas referenciadas e citadas nos trabalhos lidos.

A terceira etapa de pesquisa, concentrou-se em localizar as normas técnicas que tratam da pavimentação intertravada e asfáltica, com o propósito de embasar as informações que vinham sendo localizadas. Além disso, buscou-se pelas especificações técnicas da ABCP e manuais do DNIT, muito citados pelos trabalhos que vinham sendo estudados, e que oferecem um melhor embasamento relacionado a execução dos serviços tratados neste texto.

3.1 APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho, será um condomínio horizontal, em execução no município de Senador Canedo, Goiás, com acesso pela GO 403. Na Figura 14 está apresentada a localização geográfica do empreendimento, e na Figura 15 está apresentada a sua disposição urbanística.

As três primeiras quadras (denominadas A, B e C), representadas na coloração rosa, são áreas externas ao empreendimento, que constituem uma área comercial com 20411,75m². As demais quadras, em amarelo, serão destinadas ao uso residencial, totalizando 592 unidades unifamiliares. Ambas as regiões do condomínio, interna e externa, receberam como solução para o sistema viário, o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (revestimento asfáltico-CBUQ).

Figura 14 - Localização geográfica do objeto de estudo



Fonte: Google Maps, 2019

Figura 15 - Implantação geral



Fonte: Adaptado memorial descritivo da pavimentação, 2019.

3.2 PROJETO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO

O sistema viário do condomínio, tanto vias internas como externas (área comercial), foi previsto em projeto como sendo do tipo asfáltico. A definição da estrutura final do pavimento, e o detalhamento do projeto, foram obtidos a partir do dimensionamento realizado com base no Método do DNIT (2006a), método este descrito sucintamente no item 2.2.3 deste trabalho.

O dimensionamento está detalhado no anexo A, enquanto no anexo B apresenta-se o projeto com a definição da estrutura final do pavimento, e as indicações das espessuras de cada uma das camadas constituintes. A fim de facilitar a visualização, o dimensionamento do anexo A está apresentado sucintamente no próximo tópico.

3.2.1 Dimensionamento

O dimensionamento do pavimento iniciou-se com a classificação da via de acordo com a intensidade do tráfego que está estará submetida. Para este projeto, esta classificação foi feita a partir da tabela da PMSP, (SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS, 2004a) apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Valor de N em função do tipo de via e tráfego previsto para pavimento em CBUQ

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO (ANOS)	VOLUME INICIAL DA FAIXA MAIS CARREGADA		N	N Característico
			VEICULO LEVE	CAMINHÕES E ÔNIBUS		
Via Local	Leve	10	100	4	$2,7 \times 10^4$	10^5
			a	a	a	
			400	20	$1,4 \times 10^5$	
Via Local e Coletora	Médio	10	401	21	$1,4 \times 10^5$	5×10^5
			a	a	a	
			1500	100	$6,8 \times 10^5$	

Fonte: Adaptado Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras, 2004a.

Devido ao pequeno fluxo de veículos nas vias internas, o tráfego previsto poderia ter sido caracterizado como Muito Leve. No entanto, com o intuito de prevenir as várias formas de ataque que o ambiente e as cargas podem impor ao pavimento, optou-se por considerar a categoria de tráfego como sendo do tipo Leve. Já as vias externas, foram consideradas submetidas a condições de tráfego médio.

A etapa seguinte, consiste na determinação do valor do número N, que como visto no capítulo 2, está inteiramente relacionado com tráfego em circulação na via. Neste projeto, estes valores foram atribuídos também de acordo com a Tabela 1 e encontram-se sintetizados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores adotados para o Número N

Local de Aplicação	Valor de N - Solicitações do eixo padrão
Vias Internas	$N = 1 \times 10^5$
Vias Externas - Área Comercial	$N = 5 \times 10^5$

Fonte: A autora, 2019.

A partir dessas informações preliminares (caracterização do tráfego e número N), o dimensionamento foi realizado para um período de projeto de 10 anos, e desenvolveu-se basicamente em dois momentos. Inicialmente, foram realizados os serviços em campo, e em seguida, os estudos em escritório.

De posse de todo o conhecimento obtido nos serviços de campo, partiu-se para as análises em escritório. As informações colidas em campo, e os resultados dos ensaios e sondagens realizadas foram tratados estatisticamente, de modo a explorar o que o material local poderia oferecer, em termos de suporte para as camadas de pavimentação. Todo o processo de análise e definições, foi fundamentado em obter a estrutura mais otimizada possível, em concordância com a disponibilidade e característica dos materiais locais, e consistiu-se na variação das espessuras das camadas do pavimento, bem como do ISC do material.

O resultado desse estudo, indicou como solução capaz de associar qualidade técnica e eficiência econômica, a retirada da camada de sub-base da estrutura do pavimento. Para tanto, nas vias internas o subleito deveria ser construído com material de $ISC \geq 13\%$, e com 20 cm de espessura, sobre camada de fundação de $ISC \geq 9\%$. Nas vias externas, esses parâmetros devem

ser: material para subleito com $ISC \geq 20\%$ e espessura de 20 cm, também sobre camada de fundação de $ISC \geq 9\%$.

A partir dessa determinação de como seria a estrutura do pavimento, as camadas constituintes foram dimensionadas. As seções típicas finais definidas para o sistema viário interno e externo com revestimento em CBUQ, encontram-se esquematizadas no Quadro 3 e Quadro 4 a seguir.

Quadro 3 – Representação esquemática do sistema viário interno.

CAMADA	ESPESSURA	MATERIAL
CBUQ	2,5 cm	CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CAP 30/45
BASE	15 cm	MATERIAL GRANULAR - SOLO / MISTURA OU BGS $ISC \geq 60\%$
SUB-LEITO	20 cm	SOLO $ISC \geq 13\%$
CAMADA DE FUNDAÇÃO EM ATERRO	40 cm	SOLO $ISC \geq 9\%$
CAMADA DE FUNDAÇÃO EM CORTE	20 cm	SOLO $ISC \geq 9\%$

Fonte: Adaptado Memorial Descritivo da Pavimentação, 2019.

Quadro 4 - Representação esquemática do sistema viário externo.

CAMADA	ESPESSURA	MATERIAL
CBUQ	3,0 cm	CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CAP 30/45
BASE	19 cm	MATERIAL GRANULAR - SOLO / MISTURA OU BGS $ISC \geq 60\%$
SUB-LEITO	20 cm	SOLO $ISC \geq 20\%$
CAMADA DE FUNDAÇÃO EM ATERRO	40 cm	SOLO $ISC \geq 9\%$
CAMADA DE FUNDAÇÃO EM CORTE	20 cm	SOLO $ISC \geq 9\%$

Fonte: Adaptado Memorial Descritivo da Pavimentação, 2019.

As informações acima apresentadas, relatando o procedimento utilizado para chegar-se ao dimensionamento final do pavimento, foram obtidas por meio de diálogos com os engenheiros responsáveis pela obra, que acompanharam todo o processo, e encontram-se também descritas no memorial descritivo apresentado no anexo A.

3.2.2 Orçamentação

Um dos objetivos específicos deste trabalho foi de analisar o orçamento elaborado pela empresa empreendedora para a execução do sistema viário do condomínio horizontal estudado. Porém, com o orçamento disponibilizado, observou-se que não era possível

estabelecer critérios que sustentassem a análise comparativa que seria feita entre a solução adotada pela empresa e a proposta neste trabalho, devido constar na proposta da empresa serviços e ou quantidades que seriam feitos em parcerias com terceiros, implicando na exclusão de itens do orçamento.

Isto ocorreu por limitações de acesso a informações, desconhecimento das negociações realizadas durante o processo licitatório, como a concessão de descontos para fechamento da parceria entre contratante e contratada, desatualização dos preços, uma vez que o mesmo foi elaborado em 2017, e ainda a omissão de alguns itens de serviços considerados significativos para as análises.

Diante disso, optou-se por elaborar o orçamento para o pavimento asfáltico, a partir dos bancos de dados da GOINFRA (2018a), tal como feito para o pavimento intertravado, a fim de viabilizar as comparações, deixá-las coesas e sob os mesmos parâmetros.

O orçamento do pavimento asfáltico foi desenvolvido em uma planilha no Excel e encontra-se nos resultados deste trabalho, item 4.2. A planilha contempla a descrição das atividades a serem desenvolvidas, suas respectivas unidades de medida e quantitativos, BDI, preços unitários considerados para a execução dos serviços, e por fim, preços com BDI e preços totais (gerados a partir do preço com BDI e quantitativos). O total geral ao final da planilha, representa o custo total para a execução do sistema viário do condomínio (interno e externo).

3.3 PROJETO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO

Nos próximos tópicos estão apresentadas as etapas de trabalho desenvolvidas para a elaboração do projeto do dimensionamento do pavimento intertravado. Destaca-se a importância desse processo, visto que as análises e comparações finais estão diretamente associadas a ele.

3.3.1 Levantamento de Dados

O dimensionamento com blocos de concreto necessita do estabelecimento de parâmetros iniciais, como a identificação dos valores do número N (número de solicitações equivalentes ao eixo simples padrão de 8,2 tf), sendo o parâmetro do tráfego solicitante do pavimento, bem como ocorre para o dimensionamento do pavimento em CBUQ. Como a intenção deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre o pavimento intertravado e o pavimento asfáltico em execução no objeto de estudo, as premissas devem ser estabelecidas de modo a viabilizar este estudo comparativo, tal como será feito a seguir.

a) Número N – Número de solicitações do eixo padrão

As solicitações das cargas por eixo, necessárias para se obter o número de solicitações equivalentes de uma carga padrão de 8,2 tf por eixo simples, através do fator de equivalência, como descrito no item 2.1.3, não são conhecidas. Desse modo, para a determinação do número N, foi necessária uma análise crítica entre as opções que se tinha para estabelecer esse valor.

Para definir este coeficiente, existiam três linhas de raciocínio para o desenvolvimento da pesquisa. A primeira alternativa, seria estimar a quantidade de solicitações das cargas por eixo, a partir de uma relação com a quantidade de lotes do empreendimento. A segunda opção, resumia-se em adotar o mesmo valor de N definido no memorial descritivo do pavimento asfáltico (Anexo A).

A terceira possibilidade, solução adotada, refere-se a utilizar para a determinação do número N, a Tabela 2 apresentada a seguir (SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS, 2004b) da PMSP (Prefeitura Municipal de São Paulo). Trata-se de uma tabela equivalente a

Tabela 1, indicada anteriormente, gerada pela mesma fonte (PMSP), com a diferença de esta (Tabela 2) ser a proposta da PMSP para os pavimentos intertravados.

Optou-se por trabalhar com essa última alternativa, visto que as duas primeiras poderiam indicar uma estimativa de solicitações equivocada. Isto, pois que não ter-se-ia um critério bem definido para quantificar quantas solicitações cada lote representaria, e a adoção do valor utilizado para o CBUQ poderia gerar uma estrutura para o pavimento intertravado, que não corresponderia às cargas impostas a ele.

Desse modo, tendo-se aplicado a Tabela 2, espera-se ter chegado ao pavimento intertravado que mais represente a realidade, e ainda, ter-se definido o valor do número N com os mesmos parâmetros para os dois tipos de pavimento, uma vez que as duas tabelas foram geradas pela mesma entidade, a Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras de São Paulo.

Tabela 2 -Valor de N em função do tipo de via e tráfego previsto para pavimento intertravado

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/ Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ 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

Fonte: Adaptado Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras, 2004b.

Estando definido o critério utilizado para encontrar o valor de N, foi preciso classificar as vias do condomínio quanto a sua função predominante, para então aplicar a Tabela 2 e prosseguir com o dimensionamento. Para isto, recorreu-se aos conceitos de vias locais e vias coletoras.

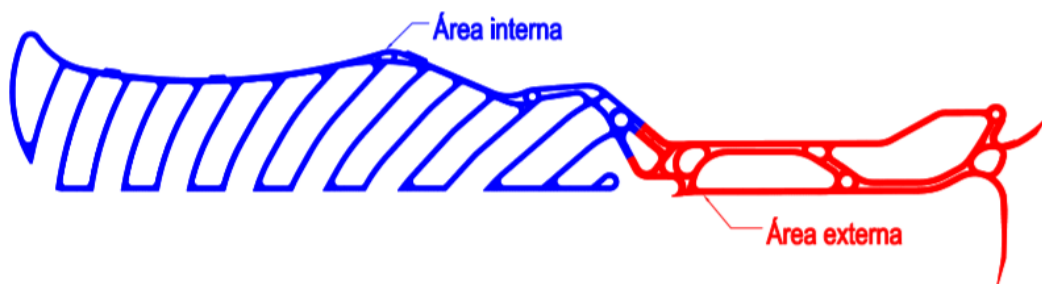
De acordo com o Código de Transito Brasileiro (CTB) (MINISTÉRIO DAS CIDADES, CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2008), as vias urbanas podem ser classificadas em vias de transito rápido, via arterial, via coletora e via local. Segundo o Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Transito, e o Departamento Nacional de Transito (2008, p.57), a via coletora é “(...) aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.”. Já a via local, é apresentada como “(...) aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas. ” (2008, p.57).

A partir das definições do CTB apresentadas, pôde-se classificar todas as ruas internas do condomínio, hachuradas de azul na Figura 16, como vias locais, uma vez que serão utilizadas apenas para acessos locais ou a áreas restritas. Sendo assim, o tráfego previsto para estas, de acordo com a Tabela 2, é caracterizado como leve. Já as vias que estão externas, na chamada área comercial, hachuradas de vermelho na Figura 16, partindo da definição do CTB descrita anteriormente, foram classificadas como vias coletoras, visto que irão coletar e distribuir o transito de entrada e saída de uma via de tráfego rápido, (GO 403, Km 9 +121). Além disso, essas vias terão um tráfego similar àquele que interliga as diversas regiões da cidade, função de uma via coletora. Para essas, o tráfego previsto foi considerado médio.

Destaca-se que as definições do CTB e as classificações do sistema viário quanto a natureza do tráfego apresentadas acima, serão essenciais na definição da espessura necessária aos blocos de concreto, como será visto no tópico seguinte.

Quanto ao período de projeto, optou-se por manter o mesmo período definido no memorial descritivo do pavimento asfáltico (10 anos), uma vez que a proposta em pavimento intertravado deve servir com qualidade o usuário, por um período igual ao que o pavimento asfáltico foi dimensionado para atender.

Figura 16 – Caracterização do sistema viário do condomínio



Fonte: Adaptado Projeto de Pavimentação, 2019

3.3.2 Dimensionamento

Como pode-se observar na Figura 16, o objeto de estudo deste trabalho, condomínio horizontal encontra-se composto por dois tipos distintos de vias. Desse modo, visando atender as solicitações de cargas impostas a cada tipo, e buscando uma solução econômica, foram propostos dois dimensionamentos em pavimento intertravado, um para cada situação: vias externas e vias internas.

Para o dimensionamento, seguiu-se as etapas descritas em 2.1.3, utilizando-se dos gráficos da Figura 7 e Figura 8, e informações que ali constam. Como esclarecido detalhadamente em 4.3.1, as cargas por eixo não são conhecidas, tendo sido adotado, portanto, para o número N, os valores indicados na Tabela 2. Por conseguinte, o gráfico da Figura 6 que fornece o fator de equivalência, utilizado quando se faz o cálculo do número de solicitações do eixo padrão/dia (número N), não foi utilizado.

Estando de posse dos valores de N , respectivamente às vias internas e externas, a etapa subsequente consistiu-se na determinação do CBR do subleito ($CBR_{subleito}$). Esse índice é necessário pois a definição da camada de base se dá da associação entre N e $CBR_{subleito}$.

Como dito em 3.2.1, para desenvolver o dimensionamento do pavimento asfáltico, foram realizadas sondagens e ensaios geotécnicos na região de elaboração do projeto. Os resultados desses estudos indicaram a presença de material de qualidade em abundância na região (solo laterítico), o que resultou em um valor de $CBR_{subleito}$ (13%) (MEMORIAL DESCRITIVO DA PAVIMENTAÇÃO, 2019) de modo que as demais camadas estruturais puderam ser otimizadas, tornando mais econômico o pavimento. Sendo assim, para o pavimento intertravado, utilizou-se o mesmo valor de $CBR_{subleito} = 13\%$, objetivando o dimensionamento mais econômico para a estrutura intertravada final.

A partir destas definições ($CBR_{subleito}$ e número N), determinou-se o CBR e a espessura necessária para a sub-base ($CBR_{sub-base}$). Com base no gráfico da Figura 7 como o $CBR_{subleito}$ é maior que 7% e menor que 20%, é necessário para a sub-base uma espessura mínima de dez centímetros (10 cm), para os dois tipos de vias.

Quanto a especificação da camada de base, está será feita considerando o apresentado no capítulo 2. No item 2.1.3, o gráfico da Figura 8 indica a espessura necessária para a base, a partir do número N . Também neste item, é abordado sobre a possibilidade da ausência dessa camada, para $N < 1,5 \times 10^6$. Sendo assim, ambos os dimensionamentos, vias internas e externas, não necessitam da camada de base, visto que, $N_{interno} = 1,0 \times 10^5$ e $N_{externo} = 5,0 \times 10^5$, ambos menores que $1,5 \times 10^6$.

A definição da espessura necessária aos blocos de concreto, foi efetivada a partir do Quadro 1, em função da classificação do tipo de tráfego (leve, médio, pesado). Como apresentado na Tabela 2, as vias locais (internas) estão sujeitas a tráfego leve, e as coletoras (externas), ficam submetidas a tráfego médio. Sendo assim, foi adotado peças com seis centímetros (6 cm) de espessura para as vias internas, e peças de oito centímetros (8 cm), para as vias externas, em conforme com o indicado no Quadro 1.

O dimensionamento exige a especificação da camada de assentamento, formada por areia. Como abordado na alínea c), do item 2.1.4, o sucesso deste pavimento depende significativamente desta camada. Desta forma, de modo a garantir a boa acomodação das peças e evitar falhas futuras, tanto nas vias internas como externas, optou-se por adotar cinco

centímetros de espessura para a camada compactada, evitando deformações verticais no revestimento.

A fim de condensar todos os dados supracitados, referentes aos dimensionamentos, favorecer a visualização e entendimento, foi elaborada a planilha Dimensionamento do Pavimento Intertravado, que será apresentada nos resultados deste trabalho. Nessa, são especificadas todas as espessuras e valores de CBR para cada uma das camadas estruturais que irão compor o pavimento intertravado.

3.3.3 Projeto

A partir da definição das espessuras referentes a cada camada estrutural, partiu-se para a elaboração propriamente dita do projeto do pavimento intertravado. Esta etapa foi desenvolvida com o auxílio das ferramentas do programa AutoCad, na sua versão 2016.

Baseado nos arquivos do programa AutoCad (extensão DWG) disponibilizado pela empresa parceira, contendo o projeto do pavimento asfáltico e também o projeto urbanístico, foi elaborado o projeto do pavimento intertravado. Este processo, além de materializar um dos objetivos gerais deste trabalho, a elaboração do projeto intertravado, permitiu a visualização do resultado final do dimensionamento.

O projeto em pavimento intertravado, contemplando as espessuras calculadas em 3.3.2, encontra-se detalhado no Apêndice A.

3.3.4 Levantamento dos quantitativos para orçamento

O processo de levantamento dos quantitativos para a elaboração do orçamento do pavimento intertravado, partiu do orçamento e considerações de projeto do pavimento asfáltico.

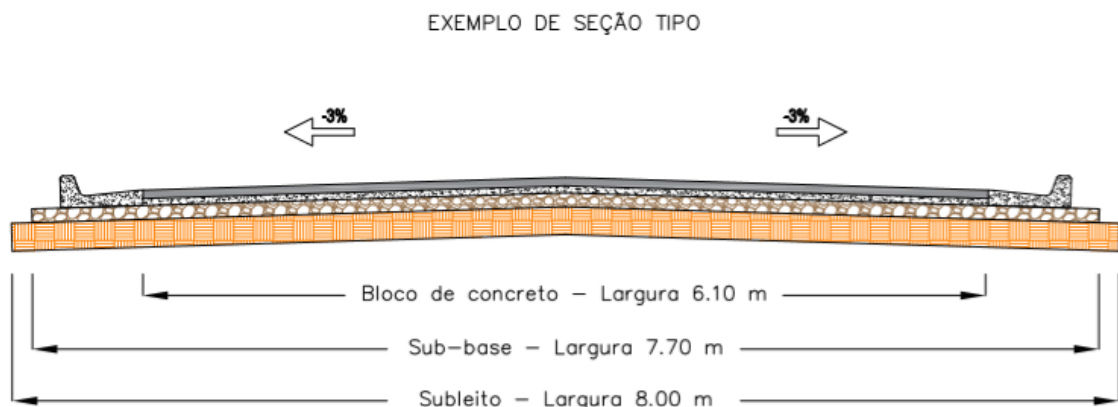
A área do subleito considerada (em ambos os orçamentos), corresponde a largura da pista de rolamento, (6,10m) acrescida da largura correspondente ao meio fio e sarjeta (45 cm), e ainda, uma faixa adicional (50 cm) em cada bordo da pista, resultando em 8 metros de largura, como está ilustrado na Figura 17.

Para a sub-base, considera-se uma faixa adicional equivalente ao que foi considerado para a base no pavimento asfáltico, portanto, 35 cm a mais em cada bordo. Desse modo, a área de sub-base foi computada para uma largura de 7,7 m, resultando em uma área de sub-base um pouco menor que a de subleito.

A partir desta consideração, observa-se que as áreas de subleito para ambos pavimentos são equivalentes, bem como a área de base que receberá o CBUQ corresponde à da sub-base dimensionada para o paver. Diante disso, desenvolveu-se aqui uma atividade de conferência das áreas constantes na planilha orçamentária fornecida pela empresa, para verificar se os quantitativos indicados estavam corretos. Para tanto, recorreu-se ao programa AutoCad, por meio do qual foi possível validar as áreas que compuseram a coluna de quantitativos das planilhas orçamentárias do título 4.2.

Com relação a camada de assentamento, como a sua execução ocorre após às contenções laterais (neste caso, a sarjeta do meio-fio), a areia é lançada dentro do “caixote” preparado para receber as peças de concreto e formar a superfície de rolamento. Sendo assim, a camada de areia e a de paver possuem áreas iguais, que correspondem à faixa de rolamento, com 6,10 metros de largura.

Figura 17 – Seção transversal das camadas estruturais



Fonte: Autoria própria

3.3.5 Planilha orçamentária

A estrutura da planilha orçamentária utilizada para o pavimento intertravado seguiu o modelo preparado para o pavimento asfáltico, tendo sido adaptada para contemplar a estrutura projetada para este pavimento. Bem como a anterior, esta apresenta-se dividida em duas partes, primeiramente é colocado a pavimentação das vias externas, e em seguida as internas.

O orçamento encontra-se composto da descrição dos serviços, quantitativos dos mesmos, BDI considerado para a execução, preço unitário, código do serviço nas planilhas GOINFRA (2018a) e GOINFRA (2019), preço com BDI de cada serviço, e preço total, gerado a partir da multiplicação dos preços unitários com BDI pelos quantitativos.

A unidade em que cada serviço seria quantificado e orçado, foi definida a partir da disponibilidade destes nos bancos de dados consultados. Ou seja, foi feita uma análise dos Relatórios de Composição de Serviços (GOINFRA, 2018a), para identificar em qual unidade estes relatórios compuseram os preços (metros lineares, metros quadrados, metros cúbicos, toneladas x Quilômetros, etc.), de modo que fosse possível utilizar no orçamento aqui realizado, os preços unitários que constam nestes bancos de dados.

Os quantitativos apresentados em área, foram preenchidos a partir do levantamento das áreas descrito em 3.3.4. Os itens expressos em volume, foram obtidos da multiplicação das áreas de cada camada, pela respectiva espessura projetada no dimensionamento.

Os preços unitários para cada um dos itens que constituíram o orçamento, foram estabelecidos segundo a GOINFRA (2018a) e GOINFRA (2019). Cada descrição de serviço foi localizada no Relatório de Composição dos Serviços, e o valor correspondente ao preço unitário total, para a execução de uma unidade do mesmo, foi lançado na planilha orçamentária.

Para a determinação das distâncias médias de transporte (DTM) consideradas nos transportes comerciais dos materiais do orçamento, cimento, areia, blocos de concreto e emulsões asfálticas, recorreu-se ao histórico de compras da empresa responsável pela execução do objeto de estudo, a fim de localizar os fornecedores mais próximos. A areia e o cimento foram considerados no mesmo fornecedor, por isso possuem a mesma DMT (22,6Km). Para os blocos de concreto, a DMT considerada refere-se a distância da fábrica de blocos à obra, 23,6 Km. Quanto as emulsões asfálticas, para o CM-30 e RR – 1C adotou-se DMT de 25,1Km, distância do fornecedor à obra. Já para o CAP 50/70 este valor foi apenas 7,3Km, considerando que este parte do fornecedor à usina responsável pelo fornecimento do CBUQ. Para este último, (CBUQ) o DTM considerado foi o mesmo apresentado no orçamento cedido pela empresa, e representa a distância entre o real fornecedor de CBUQ à obra, 22 Km.

Para a DMT dos transportes locais, considerou-se a extensão total da obra, 2,5 Km, para os materiais que ficam armazenados nos almoxarifados do canteiro de obras, emulsões asfálticas e cimento. Quanto a areia e blocos de concreto, adotou-se DMT de 1Km, uma vez que são no geral descarregados o mais próximo possível dos locais de aplicação, sendo esta distância dificilmente maior que 1Km. Por fim, para os transportes de material de 1ª categoria, adotou-se DMT também igual a 1Km, considerando-se a presença de dois depósitos de cascalhos na obra, utilizados para a execução das camadas granulares do pavimento, o que visto a extensão da obra, 2,5Km, garante que dificilmente ocorreria uma DMT maior que 1 Km.

Na planilha orçamentária, os valores da coluna código do serviço, contemplam os números que permitem localizar no Relatório de Composição de Serviços da GOINFRA (2018a), e no Relatório de Composição de Serviços da GOINFRA (2019) os valores utilizados no orçamento.

Os preços unitários compostos pela GOINFRA (2019), para o serviço de código 270234 - PAVIMENTO INTERTRAVADO ESPESSURA DE 8 CM, e 270232 - PAVIMENTO INTERTRAVADO ESPESSURA DE 6 CM não consideram as porcentagens de BDI para a execução dos serviços. Sendo assim, com o intuito de fazer do orçamento uma representação real do custo de execução, o valor referente ao BDI foi inserido na planilha orçamentária. Adotou-se para este índice, o valor indicado pela GOINFRA (2018b), conforme consta no Quadro 5 exposto seguir.

Quadro 5 – Valores estimados para BDI

1 - BDI PARA OBRAS DE EDIFICAÇÕES										
	Administração central ⁽¹⁾	Lucro ⁽²⁾	Despesas financeiras ⁽³⁾	Seguros + Garantias ⁽⁴⁾	Riscos ⁽⁵⁾	Tributos				Resultado ⁽⁶⁾
						ISS ⁽⁶⁾	PIS ⁽⁷⁾	COFINS ⁽⁷⁾	CPRB ⁽⁸⁾	
BDI ESTIMADO	4,00%	7,20%	0,56%	0,12%	0,97%		0,65%	3,00%	0,00%	17,58%

Fonte: GOINFRA, 2018b.

Estando definido o valor adotado para o BDI e para os preços unitários de cada um dos serviços acima citados (270234 e 270232), o preço unitário com BDI foi calculado na planilha orçamentária do Excel, por meio da multiplicação de um valor (BDI) pelo outro (preço unitário). Esta multiplicação gerou os valores que constituem na planilha, a coluna denominada preço total.

Por fim, nas linhas principais de cada seção, destacadas com a cor cinza e nomeadas como itens A e B, tem-se respectivamente o custo total para a execução das vias externas e das vias internas. Ao final, o total geral representa o custo total para execução de toda a obra, e o valor obtido para o metro quadrado.

3.4 CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO

Como este trabalho propõem um estudo comparativo entre dois diferentes tipos de revestimentos para a pavimentação do objeto de estudo, a fim de melhor apresentar os resultados e as análises finais, alguns critérios de comparação foram estabelecidos.

A principal comparação a ser apresentada será com relação ao custo total e custo por metro quadrado do pavimento. A partir das planilhas orçamentárias serão apresentados os gastos para se executar toda a área proposta, e o valor unitário de cada metro quadrado. A análise da viabilidade econômica da proposta partirá desse ponto, no entanto, os demais aspectos intervenientes sobre este fator, como incidência de reparos e recuperações, condições de manutenção e vida útil da estrutura também serão avaliados.

É do conhecimento técnico que os pavimentos asfálticos, apesar de serem correntemente dimensionados para uma vida útil de 10 anos, essa vida útil só se alcança com as devidas intervenções de conservação e/ou manutenção periódicas em períodos que variam de 3 a 5 anos. Portanto, quando se compara o pavimento asfáltico com outro tipo de pavimento deve se levar em conta o custo destas intervenções, uma vez que nos pavimentos em concreto ou intertravados, os intervalos das intervenções são mais prolongados, variando de 10 a 20 anos conforme o tráfego que solicita o pavimento.

Os custos foram comparados analisando-se separadamente, os grupos de serviço relacionados, as camadas estruturais, e a superfície de rolamento. Para mais, a altura encontrada para a estrutura total do pavimento, bem como as espessuras individuais das camadas constituintes, calculadas no dimensionamento, também foram confrontadas.

Ainda relacionado ao estudo comparativo entre os dois tipos de pavimentos abordados no estudo, coloca-se que a nível de orçamentação, foram tratadas somente as partes constituintes da superestrutura, ou seja, as camadas estruturais, subleito (fundação), sub-base, base e camadas de revestimento (Paver e CBUQ). Esta opção se deu em função das atividades pertencentes aos demais grupos de serviço, como os serviços preliminares de limpeza, serem comuns ao pavimento intertravado e ao pavimento asfáltico, o que a nível de comparação, como é a proposta do trabalho, não provoca interferências.

4 APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir do embasamento teórico feito na revisão da literatura e dos procedimentos descritos na metodologia, serão apresentados neste capítulo os resultados obtidos no desenvolvimento neste trabalho.

4.1 DIMENSIONAMENTO

O pavimento intertravado proposto para o objeto de estudo foi dimensionado utilizando o Método da ABCP (1999), descrito detalhadamente na revisão da literatura (2.1.3). Este dimensionamento encontra-se sintetizado no Quadro 6 a seguir, tal como consta-se detalhado no item 3.3.2.

Quadro 6 – Dimensionamento do pavimento intertravado

DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO			
VIAS INTERNAS			
DADOS DE TRÁFEGO	PERÍODO DE PROJETO (P)		10 anos
TRÁFEGO LEVE			
CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO			
Camada	Materiais constituintes		ISC (%)
REVESTIMENTO	Paver		-
SUB-BASE	Solo Laterítico		20
SUB-LEITO	Solo Argiloso		13
APLICAÇÃO DO MÉTODO EXPERIMENTAL ADAPTADO POR A. A. LILLEY E B. J. WALKER			
NÚMERO "N" DE PROJETO (N)	CBR SUB-LEITO (%)	ESPESSURA SUB-BASE	ESPESSURA BASE
1X10 ⁴ 5	13	10 cm (7% < CBR SUBL < 20%)	0 cm - (N < 1,5 X 10 ⁴ 6)
CAMADA DE ASSENTAMENTO		CAMADA DE ROLAMENTO	
5 cm		6 cm	
VIAS EXTERNAS			
DADOS DE TRÁFEGO	PERÍODO DE PROJETO (P)		10 anos
TRÁFEGO MÉDIO			
CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO			
Camada	Materiais constituintes		ISC (%)
REVESTIMENTO	Paver		-
SUB-BASE	Solo Laterítico		30
SUB-LEITO	Solo Argiloso		13
APLICAÇÃO DO MÉTODO EXPERIMENTAL ADAPTADO POR A. A. LILLEY E B. J. WALKER			
NÚMERO "N" DE PROJETO (N)	CBR SUB-LEITO (%)	ESPESSURA SUB-BASE	ESPESSURA BASE
5X10 ⁴ 5	13	10 cm (7% < CBR SUBL < 20%)	0 cm - (N < 1,5 X 10 ⁴ 6)
CAMADA DE ASSENTAMENTO		CAMADA DE ROLAMENTO	
5 cm		8 cm	

Fonte: Autoria própria.

As espessuras e especificações dos materiais de cada uma das camadas estruturais estabelecidas no dimensionamento apresentado, bem como a espessura total do pavimento estão

expostas de forma sintética no Quadro 7 e Quadro 8 a seguir, respectivamente para as Vias Internas e Vias Externas.

Quadro 7 – Pavimento intertravado - Vias internas

VIAS INTERNAS		
CAMADA	ESPESSURA	MATERIAL
PAVER	6,0 cm	Concreto 35 MPa
CAMADA DE ASSENTAMENTO	5,0 cm	Areia seca
SUB-BASE	10 cm	Solo CBR 20%
SUB-LEITO	20 cm	Solo CBR 13%
ESPESSURA TOTAL		41 cm

Fonte: Autoria própria

Quadro 8 – Pavimento intertravado – Vias externas

VIAS EXTERNAS		
CAMADA	ESPESSURA	MATERIAL
PAVER	8,0 cm	Concreto 35 MPa
CAMADA DE ASSENTAMENTO	5,0 cm	Areia seca
SUB-BASE	10 cm	Solo CBR 30%
SUB-LEITO	20 cm	Solo CBR 13%
ESPESSURA TOTAL		43 cm

Fonte: Autoria própria

No Quadro 9 e Quadro 10 estão ilustradas as estruturas finais adotadas para o pavimento asfáltico dos dois tipos de vias que constituem o condomínio, e suas respectivas espessuras totais.

Quadro 9 – Pavimento asfáltico – Vias internas

VIA INTERNA		
CAMADA	ESPESSURA	MATERIAL
CBUQ	2,5 cm	CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CAP 30/45
BASE	15 cm	MATERIAL GRANULAR - SOLO / MISTURA OU BGS ISC $\geq$ 60%
SUB-LEITO	20 cm	SOLO ISC $\geq$ 13%
ESPESSURA TOTAL		37,5 cm

Fonte: Autoria própria

Quadro 10 – Pavimento asfáltico – Vias externas

VIA EXTERNA		
CAMADA	ESPESSURA	MATERIAL
CBUQ	3,0 cm	CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CAP 30/45
BASE	19 cm	MATERIAL GRANULAR - SOLO / MISTURA OU BGS ISC $\geq$ 60%
SUB-LEITO	20 cm	SOLO ISC $\geq$ 20%
ESPESSURA TOTAL		42 cm

Fonte: Autoria própria

4.2 ORÇAMENTO

Como disposto nos objetivos deste trabalho, almejava-se avaliar a viabilidade econômica da aplicação das peças de concreto como alternativa para a pavimentação do condomínio estudado. Para que este propósito fosse atingido, os quantitativos de serviços foram conferidos, e os custos de execução foram extraídos dos bancos de dados da GOINFRA (2018a).

Esses dois grupos de informações, quantitativos e custos, compilados e trabalhados na planilha orçamentária, geraram o custo total de execução do pavimento, e consequentemente, o custo por metro quadrado. A planilha orçamentária elaborada para o pavimento intertravado está apresentada no Quadro 11.

Conforme pode ser observado, obteve-se como custo total para a execução do sistema viário em blocos intertravados, o valor de R\$ 4.060.744,72. Tendo-se como área total de superfície de rolamento 69296,42 m², o custo por metro quadrado encontrado é de R\$ 58,60. Para o pavimento asfáltico, como consta no Quadro 12, o custo total de execução da obra com esta solução é de R\$ 3.925,821,95, o que para os 69296,42 m² de área pavimentada resulta em um custo por metro quadrado de R\$ 56,65.

Quadro 11 – Planilha orçamentária pavimento intertravado

continua

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID	DMT	QUANTIDADE	BDI	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO C/ BDI	PREÇO TOTAL
A	CÓDIGO DO SERVIÇO	PAVIMENTAÇÃO DE VIAS EXTERNAS							R\$ 1.601.073,21
1.0		SUBLEITO							R\$ 96.426,50
1.1	44020	Escavação e carga de material de 1º categoria	m³		7.962,55	20,18%	R\$ 2,27	R\$ 2,72	R\$ 21.658,14
1.2	44021	Transporte material 1º categoria	m³.Km	1	7.962,55	20,18%	R\$ 1,58	R\$ 1,89	R\$ 15.049,22
1.3	44052	Regularização e Estabilização granulométrica de sub-leito	m²		30.625,19	20,18%	R\$ 1,63	R\$ 1,95	R\$ 59.719,14
2.0		SUB-BASE							R\$ 69.315,97
2.1	40300	Desmatamento, limpeza e expurgo de jazida	m²		6.405,0985	20,18%	R\$ 0,28	R\$ 0,33	R\$ 2.113,68
2.2	40305	Acabamento e recomposição de jazidas	m²		6.405,09	20,18%	R\$ 0,24	R\$ 0,28	R\$ 1.793,43
2.3	40315	Escavação e carga de material de jazida	m³		3.843,05	20,18%	R\$ 2,84	R\$ 3,41	R\$ 13.104,83
2.4	40320	Transporte de material de jazida	m³.Km	1	3.843,05	20,18%	R\$ 1,43	R\$ 1,71	R\$ 6.571,63
2.5	44150	Estabilização granulométrica de sub-base	m³		2.956,19	20,18%	R\$ 12,88	R\$ 15,47	R\$ 45.732,40
3.0		EXECUÇÃO DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO							R\$ 1.435.330,74
3.1	270234	Lançamento e Regularização da camada de areia, assentamento dos blocos (35MPa), compactação, e selagem das juntas	m²		25.351,61	17,58%	R\$ 45,02	R\$ 52,93	R\$ 1.341.860,91

Quadro 11 – Planilha orçamentária pavimento intertravado

continuação

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID	DMT	QUANTIDADE	BDI	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO C/ BDI	PREÇO TOTAL
3.2	45205	Transporte comercial de areia	t.Km	22,6	42.970,98	20,18%	R\$ 0,46	R\$ 0,55	R\$ 23.634,04
3.3	44302	Transporte local de areia	m³.Km	1	1.267,58	20,18%	R\$ 1,87	R\$ 2,24	R\$ 2.839,38
3.4	45206	Transporte comercial dos blocos de concreto	t.Km	23,6	114.873,23	20,18%	R\$ 0,45	R\$ 0,54	R\$ 62.031,55
3.5	47050	Transporte local dos blocos de concreto	t.Km	1	4.867,50	20,18%	R\$ 0,85	R\$ 1,02	R\$ 4.964,86
B	CÓDIGO DO SERVIÇO	PAVIMENTAÇÃO DAS VIAS INTERNAS - SUB-LEITO, SUB-BASE							R\$ 2.459.671,51
1.0		SUBLEITO							R\$ 173.922,60
1.1	44020	Escavação e carga de material de 1º categoria	m³		14.361,89	20,18%	R\$ 2,27	R\$ 2,72	R\$ 39.064,37
1.2	44021	Transporte material 1º categoria	m³.Km	1	14.361,89	20,18%	R\$ 1,58	R\$ 1,89	R\$ 27.143,99
1.3	44052	Regularização e Estabilização granulométrica de sub-leito	m²		55.238,07	20,18%	R\$ 1,63	R\$ 1,95	R\$ 107.714,24
2.0		SUB-BASE							R\$ 144.482,47
2.1	40300	Desmatamento, limpeza e expurgo de jazida	m²		52.867,82	20,18%	R\$ 0,28	R\$ 0,33	R\$ 17.446,38
2.2	40305	Acabamento e recomposição de jazidas	m²		52.867,82	20,18%	R\$ 0,24	R\$ 0,28	R\$ 14.802,99
2.3	40315	Escavação e carga de material de jazida	m³		6.872,81	20,18%	R\$ 2,27	R\$ 2,72	R\$ 18.694,06
2.4	40320	Transporte de material de jazida	m³.Km	1	6.872,81	20,18%	R\$ 1,43	R\$ 1,71	R\$ 11.752,52

conclusão

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID	DMT	QUANTIDADE	BDI	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO C/ BDI	PREÇO TOTAL
2.5	44150	Estabilização granulométrica de sub-base	m³		5.286,78	20,18%	R\$ 12,88	R\$ 15,47	R\$ 81.786,52
3.0		EXECUÇÃO DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO							R\$ 2.141.266,44
3.1	270232	Lançamento e Regularização da camada de areia, assentamento dos blocos (35MPa), compactação, e selagem das juntas	m²		43.944,8088	17,58%	R\$ 38,87	R\$ 45,70	R\$ 2.008.277,76
3.2	45205	Transporte comercial de areia	t.Km	22,6	74.486,4509	20,18%	R\$ 0,46	R\$ 0,55	R\$ 40.967,55
3.3	44302	Transporte local de areia	m³.Km	1	2.197,2404	20,18%	R\$ 1,87	R\$ 2,24	R\$ 4.921,82
3.4	45206	Transporte comercial dos blocos de concreto	t.Km	23,6	149.342,0382	20,18%	R\$ 0,45	R\$ 0,54	R\$ 80.644,70
3.5	47050	Transporte local dos blocos de concreto	t.Km	1	6.328,0525	20,18%	R\$ 0,85	R\$ 1,02	R\$ 6.454,61
					-				
ÁREA TOTAL (m²)									69296,42
TOTAL GERAL R\$									R\$ 4.060.744,72
CUSTO POR METRO QUADRADO									R\$ 58,60

Quadro 12 – Planilha orçamentária pavimento asfáltico

continua

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID.	DMT	QUANTIDADE	BDI	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO C/ BDI	PREÇO TOTAL
A	CÓDIGO	PAVIMENTAÇÃO DE VIAS EXTERNAS - SUB-LEITO, BASE, IMPRIMAÇÃO							R\$ 1.568.344,68
1.0		SUBLEITO							R\$ 96.426,50
1.1	44020	Escavação e carga de material de 1º categoria	m³		7.962,55	20,18%	R\$ 2,27	R\$ 2,72	R\$ 21.658,14
1.2	44021	Transporte material 1º categoria	m³.Km	1	7.962,55	20,18%	R\$ 1,58	R\$ 1,89	R\$ 15.049,22
1.3	44052	Regularização e compactação granulométrica de sub-leito	m²		30.625,19	20,18%	R\$ 1,63	R\$ 1,95	R\$ 59.719,14
2.0		BASE							R\$ 217.084,94
2.1	40300	Desmatamento, limpeza e expurgo de jazida	m²		12.169,68	20,18%	R\$ 0,28	R\$ 0,33	R\$ 4.016,00
2.2	40305	Acabamento e recomposição de jazidas	m²		12.169,68	20,18%	R\$ 0,24	R\$ 0,28	R\$ 3.407,51
2.3	40315	Escavação e carga de material de jazida	m³		7.301,81	20,18%	R\$ 2,84	R\$ 3,41	R\$ 24.899,18
2.4	40320	Transporte de material de jazida	m³.Km	1	7.301,81	20,18%	R\$ 1,43	R\$ 1,71	R\$ 12.486,10
2.5	40450	Transporte comercial de cimento para mistuta solo-cimento	t.Km	22,6	5.331,44	20,18%	R\$ 0,42	R\$ 0,50	R\$ 2.665,72
2.6	40449	Transporte local de cimento	t.Km	2,5	589,76	20,18%	R\$ 0,85	R\$ 1,02	R\$ 601,56
2.7	40350	Estabilização granulométrica de base c/ mistura solo-cimento 2% peso-pista	m³		5.616,7787	20,18%	R\$ 25,04	R\$ 30,09	R\$ 169.008,87

Quadro 12 – Planilha orçamentária pavimento asfáltico

continuação

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID.	DMT	QUANTIDADE	BDI	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO C/ BDI	PREÇO TOTAL
3.0		IMPRIMAÇÃO							R\$ 184.893,08
3.1	40480	Fornecimento de CM-30	ton		30,42	-	-	R\$ 5.705,01	R\$ 173.557,45
3.2	40530	Transporte comercial de material betuminoso - CM30	t.Km	25,1	30,42	-	-	R\$ 57,18	R\$ 1.739,53
3.3	44300	Transporte local de material betuminoso - CM30	t.Km	2,5	76,05	20,18%	R\$ 2,37	R\$ 2,84	R\$ 216,00
3.4	44200	Processo de espargimento de asfalto diluído tipo CM-30	m²		25.351,61	20,18%	R\$ 0,31	R\$ 0,37	R\$ 9.380,10
4.0		BANHO DE LIGAÇÃO							R\$ 45.378,75
4.1	40510	Fornecimento de emulsão RR -1C	ton		12,68	-	-	R\$ 2.795,67	R\$ 35.437,37
4.2	40530	Transporte comercial de material betuminoso - RR -1C	t.Km	25,1	12,68	-	-	R\$ 57,18	R\$ 724,80
4.3	44300	Transporte local de material betuminoso - RR -1C	t.Km	2,5	31,69	20,18%	R\$ 2,37	R\$ 2,84	R\$ 90,00
4.4	44201	Processo de espargimento de emulsão asfáltica tipo RR-1C	m²		25.351,61	20,18%	R\$ 0,30	R\$ 0,36	R\$ 9.126,58
5.0		EXECUÇÃO DE CAPA ASFÁLTICA							R\$ 1.024.561,41
5.1	40525	Fornecimento do CAP 50/70	ton		109,52	-	-	R\$ 4.059,46	R\$ 444.587,88
5.2	40530	Transporte comercial de material betuminoso - CAP 50/70	t.Km	7,3	109,52	-	-	R\$ 49,45	R\$ 5.415,71
5.3	42496	Usinagem de material betuminoso - CBUQ	m³		760,54	20,18%	R\$ 221,97	R\$ 266,76	R\$ 202.883,89

Quadro 12 – Planilha orçamentária pavimento asfáltico

continuação

ITEM		DESCRIÇÃO	UNID.	DMT	QUANTIDADE	BDI	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO C/ BDI	PREÇO TOTAL
5.4	40530	Transporte comercial de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) - DT MÁXIMO	t.Km	23,3	1.825,31	20,18%	R\$ 56,38	R\$ 56,38	R\$ 102.911,33
5.5	44204	Aplicação de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ)	m³		760,54	20,18%	R\$ 294,05	R\$ 353,38	R\$ 268.762,60
B	CÓDIGO	PAVIMENTAÇÃO DAS <u>VIAS INTERNAS</u> - SUB-LEITO, BASE E IMPRIMAÇÃO							R\$ 2.359.886,74
1.0		SUBLEITO							R\$ 173.922,60
1.1	44020	Escavação e carga de material de 1º categoria	m³		14.361,89	20,18%	R\$ 2,27	R\$ 2,72	R\$ 39.064,37
1.2	44021	Transporte material 1º categoria	m³.Km	1	14.361,89	20,18%	R\$ 1,58	R\$ 1,89	R\$ 27.143,99
1.3	44052	Regularização Estabilização granulométrica de sub-leito	m²		55.238,07	20,18%	R\$ 1,63	R\$ 1,95	R\$ 107.714,24
2.0		BASE							R\$ 306.818,25
2.1	40300	Desmatamento, limpeza e expurgo de jazida	m²		17.182,04	20,18%	R\$ 0,28	R\$ 0,33	R\$ 5.670,07
2.2	40305	Acabamento e recomposição de jazidas	m²		17.182,04	20,18%	R\$ 0,24	R\$ 0,28	R\$ 4.810,97
2.3	40315	Escavação e carga de material de jazida	m³		10.309,22	20,18%	R\$ 2,84	R\$ 3,41	R\$ 35.154,46
2.4	40320	Transporte de material de jazida	m³.Km	1	10.309,22	20,18%	R\$ 1,43	R\$ 1,71	R\$ 17.628,78
2.5	40450	Transporte comercial de cimento para mistuta solo-cimento	t.Km	22,6	7.718,49	20,18%	R\$ 0,42	R\$ 0,50	R\$ 3.859,25

4.3 ANÁLISE FINANCEIRA

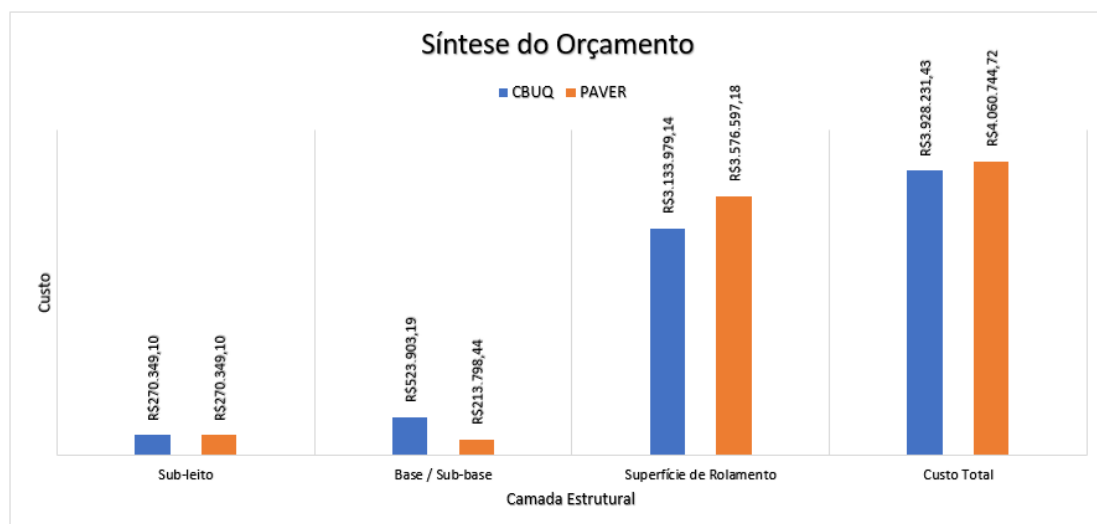
Do ponto de vista financeiro, analisando-se os custos de execução apresentados nas planilhas orçamentárias do Quadro 11 e do Quadro 12, o pavimento intertravado apresentou um custo total geral 3,26% maior que o pavimento asfáltico, o que em valores, gera um valor por metro quadrado apenas R\$1,91 maior no intertravado. Este resultado permite indicar que, apesar desta diferença financeira, devido as outras vantagens do pavimento intertravado, em especial a ecológica, o intertravado se torna viável e competitivo em relação ao pavimento asfáltico.

Analisando os custos das camadas estruturais separadamente, observa-se que ambas as propostas geraram o mesmo valor final para o subleito, uma vez que as espessuras dimensionadas coincidiram. Já para a outra camada estrutural, sub-base no paver e base no pavimento asfáltico, observa-se uma diferença significativa. Enquanto a execução da sub-base custa R\$213.798,44, a camada de base totaliza R\$ 523.903,19 no pavimento asfáltico. O resultado dessa diferença, indica que as camadas estruturais do pavimento intertravado são cerca de 39% mais baratas que as camadas correspondentes no pavimento asfáltico.

Quanto as análises dos custos para execução da superfície de rolamento, observou-se que no intertravado esta custa R\$ 3.483.127,35, enquanto o CBUQ totaliza os serviços de capa em R\$ 3.133.979,14, diferença de 10% menor que a primeira.

Para melhor visualizar as comparações financeiras citadas acima, elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 18 a seguir.

Figura 18 – Gráfico com resumo financeiro do custo das camadas dos pavimentos



Fonte: Autoria própria

4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL

A partir dos dados apresentados em 4.2 serão feitas nesta seção as análises referentes às estruturas dos pavimentos. Primeiramente compara-se as espessuras totais dos mesmos, e em seguida, as espessuras de cada camada são avaliadas.

O pavimento intertravado apresentou tanto para as vias externas como para as internas espessuras totais maiores que o pavimento asfáltico. Nas vias internas essa diferença foi de 3,5 cm, enquanto para as externas foi de apenas 1 cm. Em contrapartida, analisando-se apenas as camadas estruturais (Subleito, Sub-base e Base), o pavimento intertravado passa a ter a menor espessura. Para os dois tipos de via, o dimensionamento resultou em 30 cm de espessura somando-se regularização de subleito e sub-base de 10 cm (com material de CBR=15%), enquanto o pavimento asfáltico exigiu nas vias internas 20 cm de regularização do subleito e 15 cm de base (com material de CBR = 60%), totalizando assim 35 cm. Para a via externa, essa soma resultou em 39 cm, aumentando a diferença de 5 cm para 9 cm.

Observando-se essas diferenças, uma vez que as camadas estruturais são mais delgadas no pavimento intertravado, conclui-se que a camada de revestimento é a responsável por elevar a espessura total do pavimento intertravado, deixando-a maior que a do asfáltico. Isso ocorre devido as peças de concreto apresentarem espessura significativa (6 a 10 cm), mesmo para pequenas solicitações de tráfego. Para o caso em estudo, enquanto os artefatos de concreto juntamente com a camada de assentamento somam 11 cm nas vias internas, e 13 cm nas externas, o CBUQ conta com 2,5 cm e 3 cm de espessura nas vias internas e externas respectivamente.

Além das diferenças entre as espessuras das camadas estruturais, observou-se uma variação com relação a especificação do material constituinte. Enquanto o dimensionamento do pavimento asfáltico exige para a base material granular com CBR maior que 60%, a camada equivalente no pavimento intertravado (sub-base) requer um solo com CBR de 20%. No projeto executado do pavimento em estudo pela incorporadora em Senador Canedo foi necessário fazer mistura de solo com cimento para alcançar o CBR de 60%, implicando inclusive no aditivo de acréscimo ao orçamento inicial da obra.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho mostra que as duas tecnologias utilizadas para a pavimentação de vias urbanas são viáveis e exequíveis, uma vez que as diferenças observadas, seja na estrutura, como nos custos, são relativamente compensadas com uma boa gestão de engenharia de construção por parte da empresa empreendedora contratada.

No caso específico das estruturas das camadas de materiais granulares de sub-base e base existe uma diferença importante nos dois tipos de pavimentos, uma vez que para atender as especificações técnicas construtivas os materiais para a camada de base do pavimento asfáltico, no estudo específico, tiveram a necessidade de adição de cimento para alcançar a resistência de projeto $\text{CBR}=60\%$, enquanto no pavimento intertravado para a construção da sub-base trabalhou-se com o material natural com $\text{CBR} \geq 20\%$ sem aditivo, sem mistura, cuja execução e controle são menos trabalhosos.

Quanto aos revestimentos, pode-se observar também diferenças significativas em suas execuções e nos materiais utilizados. Enquanto no pavimento asfáltico são necessários equipamentos mecanizados e específicos para sua perfeita execução, caminhões espargidores, vibro-acabadoras, rolos compactadores pneumáticos e lisos, utilizando materiais poluentes e prejudiciais à saúde humana, asfalto diluído e mistura betuminosa a quente, o pavimento intertravado não necessita de tais equipamentos e nem de mão de obra especializada, utilizando materiais não poluentes e não nocivos aos trabalhadores.

Apesar da diferença de custo observada neste trabalho entre esses dois tipos de pavimentos viários, o pavimento intertravado é recomendado por ser uma estrutura mais ecológica, capaz de colaborar com a drenagem urbana, uma vez que é mais porosa e não forma uma superfície totalmente impermeável. Esta característica reflete ainda na segurança ao tráfego que pode oferecer, aumentando a aderência entre o pneu e o pavimento, contribuindo com a resistência a derrapagem e aquaplanagem.

Do ponto de vista urbanístico, esta estrutura, colabora com a formação de ambientes visualmente mais agradáveis, com o paisagismo local e para um maior conforto térmico, pois apresentam maior fator de luminância. Além disso, são ditos mais sustentáveis por exigirem um menor gasto energético em sua fabricação, do que o processo de obtenção das matérias primas do revestimento asfáltico.

Conclui-se ainda, que a partir deste trabalho é possível visualizar os custos do pavimento intertravado e desmistificar o senso comum de que este sempre gera custos

executivos muito maiores que o asfáltico, inviabilizando a adoção dos blocos de concreto nos projetos de pavimentação viária. Sendo assim, a viabilidade do pavimento intertravado é totalmente justificável, uma vez que sua durabilidade e frequência de manutenção necessária são bem superiores aos observados em pavimentos asfálticos, comprovando o custo benefício desta solução.

Como sugestão de estudos futuros relacionados a este tema, pode-se pensar em incluir nas análises os demais serviços, como drenagem, sinalização e custos da manutenção para determinado período de projeto. Além disso, outra análise cabível, seria considerar o assentamento mecânico das peças de concreto, de modo a observar o comportamento do orçamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ET-27. Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4ª ed. São Paulo. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. 1ª ed. São Paulo. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimentos Intertravados: Preparo da fundação - Prática Recomendada 1**. São Paulo. 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimentos Intertravados: Confinamentos - Prática Recomendada 2**. São Paulo. 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Pavimentação: Execução peça a peça - PIV 01-V3**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953: Pavimento Intertravado com Peças de Concreto - Execução**. Rio de Janeiro. 2011.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de textos , 2007.

BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L. P. **Pavimentos Rodoviários**. [S.l.]: Edições Almedina, 2016.

CARVALHO, D. B. A. **Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2011.

CARVALHO, M. D. D. **Pavimentação com Peças Pré-Moldadas de Concreto**. 4. ed. São Paulo : Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte Rodoviário: Porque os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília. 2017.

COUTINHO, J. C. P. **Dimensionamento de Pavimento Asfáltico: Comparação do Método do DNER com um Método Mecanístico - Empírico Aplicado a um Trecho**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2011.

CRUZ, L. O.. **Pavimento intertravado de concreto: dimensionamento. 2003.** Tese (Mestrado em ciência em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Método de Ensaio 92 - Determinação da massa específica aparente "in situ", com emprego do frasco de areia.** Rio de Janeiro. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Pavimentação: Publicação IPR - 719.** Rio de Janeiro. 2006a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Pavimento flexíveis: Concreto asfáltico - Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro. 2006b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Pavimentação: Imprimação com ligante asfáltico - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Pavimentação: Reforço do subleito - Especificação de Serviço 138.** Rio de Janeiro. 2010a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Pavimentação: Regularização do subleito - Especificação de serviço 137.** Rio de Janeiro. 2010b.

GODINHO, D. P. **Pavimento Intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade. 2009.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura da UFMG. Belo Horizonte. 2009.

GOINFRA. **Tabela de Terraplanagem, Pavimentação e Obras de Artes Especiais.** Goiânia. 2018a.

GOINFRA. **Demonstrativo dos BDI's estimados nos Orçamentos onerados de Obras Cíveis.** Goiânia. 2018b.

GOINFRA. **Tabela de Custos de Obras Cíveis.** Goiânia. 2019.

HALLACK, A. **Dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE. **Application Guide for Interlocking Concrete Pavements - Tech Spec. Nº 10**. Washington. 2002.

KNAPTON, J. **Romans and their Roads – The Original Small Element Pavement Technologists**. Quinta Conferência Internacional de Pavimentação de Blocos de Concreto. Israel: TelAviv. 1996a.

KNAPTON, J. **The Mathematical solution to Interlocking in Concrete Block Paving**. Quinta Conferência Internacional de Pavimentação de Blocos de Concreto. Israel: Tel-Aviv. 1996b.

LOPES, M. **Temsustentável**. Disponível em:

<<https://www.temsustentavel.com.br/pavimentadoras-de-intertravado-economia/>>. Acesso em: 15 Março 2019.

MADRID, G. Acredite: Rodovias com Intertravados já são Realidade. **Revista Prisma**, São Paulo, n. 10, 2004. Disponível em:

<http://www.revistaprisma.com.br/teste2/prisma/Textos.asp?id=59&cor=bgMarrom>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MADRID, M. **Vantagens e Aplicações dos pavimentos de peças de concreto**. Instituto Colombiano de Produtores de Cimento. Medellin. 1985.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. São Paulo: PINI, 2006.

MEDINA, J. D.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO, DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Código de Transito Brasileiro**. Brasília. 2008.

MOTTA, L. M. G. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006.

MÜLLER, R. M. **Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos. 2005.** Tese (Mestrado em ciência em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS.

Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio. São Paulo. 2004a.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS.

Dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto. São Paulo. 2004b.

SERAFIM, M. A. **Estudo e proposição de formas de pavers intertravados para áreas e passeios públicos. 2010.** Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Estadual Paulista. Bauru. 2010.

SILVA, E. R. D. **Análise do comportamento estrutural e funcional de um pavimento experimental com blocos pré-moldados de concreto. 2016.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2016.

ZAGONEL, A. R. **Inovações em Revestimento Asfálticos Utilizados no Brasil. 2013.** TCC(Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí. 2013.

ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DA PAVIMENTAÇÃO

O arquivo que será anexado aqui, ora se refere ao Condomínio Jardins Barcelona, porém este não será objeto de estudo deste trabalho, devendo, portanto, ser desconsiderada as indicações a seu respeito.

Não foi possível retirar tais referências pois se trata de um documento fornecido pela empresa parceira, que não permitiu modificações nos documentos disponibilizados.

ANEXO B – PROJETO EXECUTIVO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO

APÊNDICE A – PROJETO EXECUTIVO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO